

ل. لاندان

یو. رومر

ماہی نظریۃ النسبۃ



دار «میر» للطباعة والنشر

ل. لاندائو

يو. رومر

ماهى نظرية النسبية

الطبعة السادسة



دار «مير» للطباعة والنشر

Л. Ландау

Ю. Румер

ЧТО ТАКОЕ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Москва «Советская Россия»

يعتبر هذا الكتاب محاولة موفقة ، لعرض مبادئ نظرية النسبية الخاصة التي وضعها ألبرت أينشتاين .
ولقد أوضح مؤلفا الكتاب ، ان المفاهيم التي تعتبر راسخة ، كالزمن والفراغ والكتلة ، هي في الواقع متغيرة الخواص . فالزمن ، مثلاً في صاروخ كوني ، يمضي أبطأ من مضيهِ على الأرض - ففي الوقت الذي تمر فيه على الأرض مئات السنين ، لا يمر على الصاروخ سوى بضعة سنوات فقط .

ويمتاز هذا الكتاب بخلوه من المعادلات المعقدة وببساطة العرض وبعده عن التجريد ، مما يجعله في متناول فهم القارئ العادي غير المتخصص .
مؤلفا هذا الكتاب هما عضو أكاديمية العلوم الدكتور لاندائو وأستاذ الفيزياء الدكتور يوري رومر . وللدكتور لاندائو العديد من الأبحاث في شتى فروع الفيزياء النظرية مما أهله للحصول على جائزة نوبل ولينين في العلوم كما حصل على جائزة الدولة في الفيزياء . ولقد اشتهر الدكتور رومر بأبحاثه في مجال الفيزياء الاشعاعية والأشعة الكونية .

عالم

На арабском языке

الطبعة الأولى عام ١٩٦٦

الطبعة الثانية عام ١٩٦٩

الطبعة الثالثة عام ١٩٧٤

الطبعة الرابعة عام ١٩٧٨

الطبعة الخامسة عام ١٩٨٣

الطبعة السادسة عام ١٩٨٦

© حقوق الترجمة الى اللغة العربية محفوظة لدار «مير»

الفصل الأول

النسبة التي تعودنا عليها

هل لكل عبارة معنى ؟

من الواضح أنه ليس كذلك ، فحتى إذا أخذنا كلمات ذات معنى وربطناها ببعضها مع مراعاة قواعد النحو مراعاة تامة ، فإننا قد لا نحصل الا على هراء ، فمن الصعب مثلا إضفاء أى معنى على العبارة التالية : « هذه المياه مثلثة » . ولكن للأسف ، ليس كل هراء على هذه الدرجة من الوضوح ، وكثيرا ما تبدو العبارة للوهلة الأولى معقولة جدا ، ولكن مع التحليل الدقيق ، يتضح انها سخيفة للغاية .



اليمن واليسار

على أى جانب من الطريق - الأيمن أم الأيسر - يقع البيت ؟ الإجابة المباشرة على هذا السؤال مستحيلة . لو مشينا من الجسر الى الغابة ، فإن البيت سيقع على الجانب الأيسر ، ولو مشينا بالعكس من الغابة الى الجسر ، فإنه سيقع على الجانب الأيمن . فمن الواضح أنه لا يمكن التحدث عن الجانب الأيمن او الأيسر للطريق دون أن نأخذ في الاعتبار الاتجاه الذى نعين بالنسبة اليه اليمن واليسار . وعندما نتحدث عن الشاطئ الايمن للنهر ، يكون لحديثنا معنى ، وذلك لان مجرى الماء يحدد اتجاه النهر . وكذلك ، فالقول بأن السيارات تتحرك على اليمن ، ممكن فقط لأن اتجاه حركة السيارة يميز أحد اتجاهي الطريق . وهكذا ، فإن مفهومي « يمينا » و « يسارا » ، مفهومان نسبيان ، يأخذان معنى فقط ، بعد تحديد الاتجاه الذى يعينان بالنسبة اليه .



الآن ، نهار ام ليل ؟

ان الاجابة تعتمد على المكان الذى يطرح فيه السؤال ، فعندما يكون في موسكو نهار يكون في مدينة فلاديفستوك ليل ، ولا يوجد هنا اى تعارض ، فان النهار والليل مفهومان نسبيان ، ولا يمكن الاجابة على السؤال المطروح دون ان نوضح بالنسبة لاية نقطة على سطح الكرة الارضية يجرى الحديث .

ايهما اكبر من الآخر ؟

ان الراعى في الصورة اليمنى الموجودة أسفل الصفحة اكبر من البقرة ، اما في الصورة اليسرى فالبقرة اكبر من الراعى ، وهنا ايضا لا يوجد اى تعارض ، كل ما هناك ان هاتين الصورتين ، التقطتهما مشاهدان من نقطتين مختلفتين ، اذ وقف الأول أقرب الى الراعى ووقف الثاني أقرب الى البقرة . فليس المهم عند



الرسم الأبعاد الحقيقية للأشياء ولكن المهم هو زوايا ابصارها * . والأبعاد الزاوية للأشياء كما هو واضح ، هي أبعاد نسبية . ويكون الحديث عن الأبعاد الزاوية للأشياء عديم المعنى ، ما لم نوضح من أية نقطة في الفراغ تجرى المشاهدة . مثلا ، ان القول بان زاوية ابصار البرج 45° ، يعنى بالضبط أننا لم نقل شيئا ، ولكن على العكس ، القول بان زاوية ابصار البرج من نقطة تبعد عنه ١٥ مترا ، هي 45° هو قول له معنى ، وينتج من هذا القول مثلا أن ارتفاع البرج يساوى ١٥ مترا .

النسبى يبدو مطلقا

لو ازيجت نقطة الرصد ازاحة طفيفة ، فان الأبعاد الزاوية تتغير أيضا تغيرا طفيفا ، لذلك فان القياس الزاوى يستخدم عادة في علم الفلك ، فتوضح

* زاوية ابصار شيء ما هي الزاوية التى يصنعها الشعاعان الضوئيان الواصلان من العين الراصدة الى النقطتين الطرفيتين للشيء موضع الرصد .



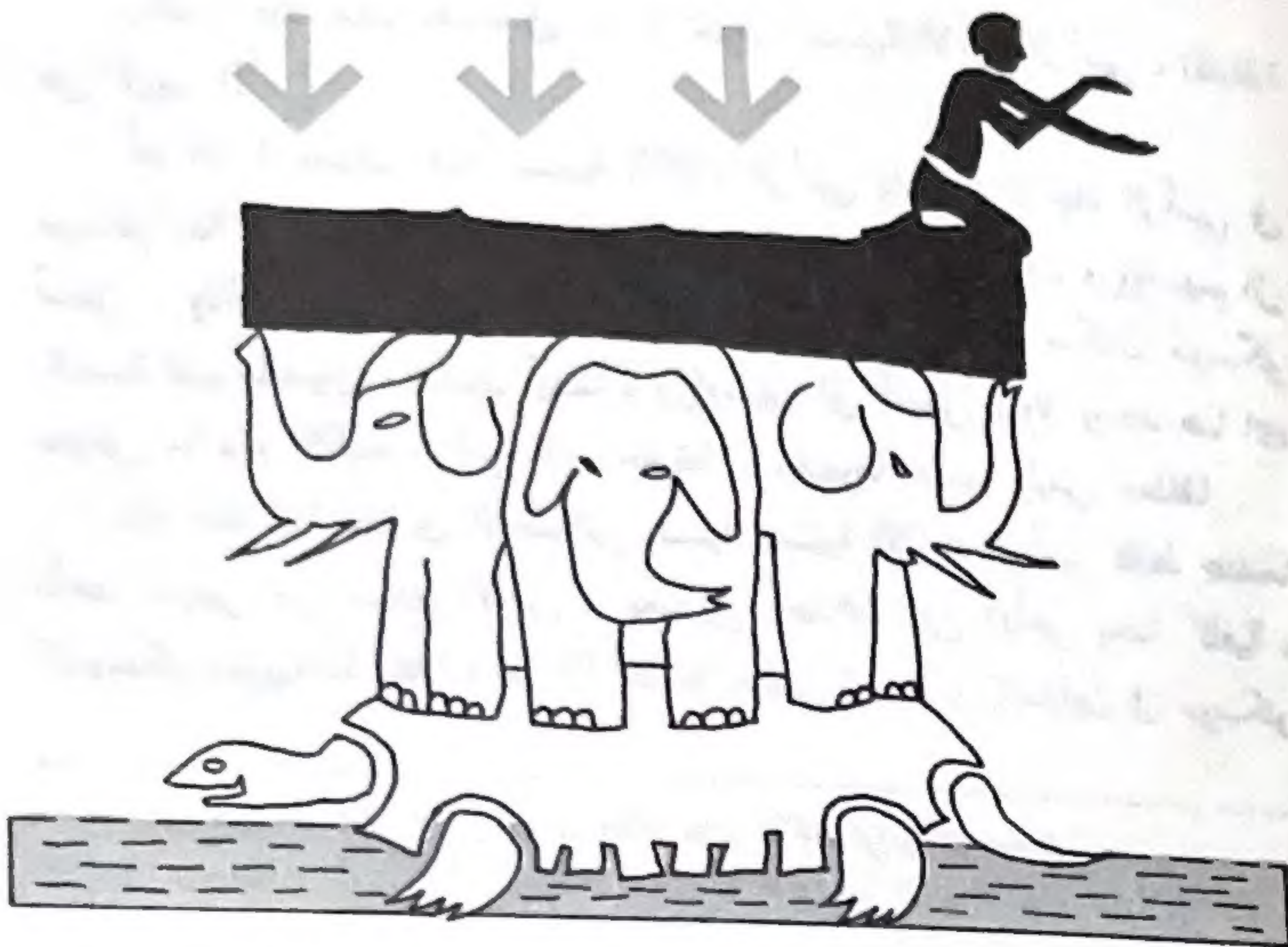
على الخريطة الفلكية ، المسافات الزاوية بين النجوم ، اى زوايا ابصار المسافات التى تفصل بين النجوم المختلفة اذا رصدت من سطح الارض .
والمعروف أننا مهما تحركنا على سطح الارض ، ورصدنا النجوم من أية نقطة على الكرة الأرضية ، فاننا سنرى دائما ، ان المسافات التى تفصل النجوم عن بعضها ، تبقى ثابتة ، وهذا يفسر بأن النجوم تبعد عنا بمسافات شاسعة يصعب تخيلها ، بحيث يكون انتقالنا على سطح الارض بالمقارنة معها ، غير محسوس ، ويمكن اهماله . لذلك يمكننا اعتبار المسافات الزاوية فى هذه الحالة ، بمثابة قياسات مطلقة .

ولكن مع دوران الارض حول الشمس ، يصبح التغير فى هذه القياسات ملحوظا رغم ضآلته . أما اذا نقلنا نقطة الرصد الى أى من النجوم ، مثلا ، الى نجمة « الشعرى اليمانية » ، فان كل هذه القياسات الزاوية تتغير بشكل يمكن معه ان يصبح النجمان البعيدان أحدهما عن الآخر فى سماءنا ، قريبين وبالعكس .



وبدا المطلق نسيا

كثيرا ما نقول : أعلى ، أسفل . هل هذان المفهومان مطلقان أم نسبيان ؟
لقد أجاب الناس على هذا السؤال فى العصور المختلفة ، إجابات مختلفة . عندما لم يعرفوا بعد أى شىء عن كروية الأرض ، وتخيلوها مستوية كالرقاقة ، اعتبروا الاتجاه الرأسى مفهوما مطلقا . وهنا افترضوا أن الاتجاه الرأسى لا يتغير ، فى جميع نقاط سطح الأرض ، وأنه من الطبيعى جدا الحديث عن ال (أعلى) المطلق وال (أسفل) المطلق .
ولكن الاتجاه الرأسى تغير فى نظر الناس ، عندما اكتشفت كروية الأرض .
فى الواقع ، عند الشكل الكروى للأرض يعتمد الاتجاه الرأسى اعتمادا أساسيا على موضع نقطة سطح الأرض التى يمر بها .



ففى نقاط سطح الأرض المختلفة ، تختلف الاتجاهات الرأسية . وما دام مفهوم الأعلى والأسفل يفقد معناه ، ما لم نوضح الى اية نقطة من نقاط سطح الأرض ينتسب ، فان هذا المفهوم قد تحول من مطلق الى نسبي . ولا يوجد فى الكون اتجاه رأسى موحد ، لذلك يمكن بالنسبة الى أى اتجاه فى الفراغ تعيين نقطة على سطح الأرض ، يكون عندها هذا الاتجاه رأسيا .

«العقل السليم» يحاول الاحتجاج

كل هذا يبدو لنا الآن واضحا ولا يثير أى شك ولو ان التاريخ يشهد على أن البشرية لم تفهم نسبية الـ (أعلى) و الـ (أسفل) بهذه السهولة . فالناس يميلون لاعتبار المفاهيم مطلقة ، ما لم تكن نسبيتها واضحة من الخبرة اليومية (كما فى حالة « يمينا » و « ويسارا ») . ولنتذكر الاعتراض المضحك على كروية الأرض ، الذى كان سائدا فى العصور الوسطى : كيف اذن سيمشى الناس ورؤوسهم الى أسفل ؟

يكمن خطأ هذه الحجة فى أنها لا تعترف بنسبية الاتجاه الرأسى ، المنبثقة عن كروية الأرض .

أما اذا لم نعترف بمبدأ نسبية الاتجاه الرأسى واعتبرنا الاتجاه الرأسى فى موسكو مثلا ، مطلقا * ، فان سكان نيوزيلندة بلا شك يمشون ورؤوسهم الى أسفل . ولكن اذا كان الأمر كذلك فيجب الا ننسى ان سكان موسكو بالنسبة للنيوزيلنديين ، يمشون أيضا ، ورؤوسهم الى أسفل ، ولا يوجد هنا أى تعارض ما دام الاتجاه الرأسى فى الحقيقة ، مفهوما نسبيا وليس مطلقا . ونلاحظ اننا نبدأ فى الاحساس عمليا بنسبية الاتجاه الرأسى فقط عندما نأخذ جزءين من سطح الأرض ، بعيدين أحدهما عن الآخر بعدا كافيا ، كموسكو ونيوزيلندة مثلا ، أما اذا أخذنا جزءين قريبين ، كمنزلين فى موسكو

* أى اعتبرنا ان الاتجاه الرأسى فى أى مكان يوازى الاتجاه الرأسى فى موسكو .

مثلا ، فاننا عمليا يمكن أن نعتبر أن الاتجاهين الرأسيين متوازيان ، أى نعتبر الاتجاه الرأسى مطلقا .
وفقط عندما يجرى الحديث عن أجزاء يمكن مقارنة مساحتها مع المساحة الكلية لسطح الأرض فان محاولة استخدام المفهوم المطلق للاتجاه الرأسى ، تؤدي الى هراء وتناقضات .
ان الامثلة التى بحثناها توضح أن كثيرا من المفاهيم التى نستخدمها ، هى مفاهيم نسبية ، أى يصبح لها معنى فقط ، عندما نوضح الشروط التى تجري بموجبها المراقبة .

الفصل الثاني

للفراغ مفهوم نسبي

نفس المكان أم لا ؟

غالباً ما نقول ان حادثتين ما ، وقعتا في نفس المكان ، واعتدنا أن نقصد بهذا القول معنى مطلقاً ، ولكنه في الواقع لا يعنى شيئاً ، بالضبط كما لو قلنا : « الآن الساعة الخامسة » دون ان نوضح المكان على وجه التحديد ، في موسكو أم في شيكاغو .

ولكى نفهم ذلك نفترض أن مسافرتين بالقطار السريع موسكو - فلاديفوستوك ، اتفقتا على أن تلتقيا كل يوم في نفس المكان من إحدى عربات القطار ، وتكتب كل واحدة منهما خطاباً الى زوجها . على أغلب الظن لن يوافق الزوجان على أن زوجتيهما تلتقيان في نفس المكان . على العكس ان عندهما كل الحق في التأكيد بان اماكن الالتقاء هذه يبعد أحدها عن الآخر مئات الكيلومترات . فهما قد تسلما خطابين من مدينة ياروسلافل وخطابين من بيرم وآخرين من سفردلوفسك وغيرهما من تيومين وكذلك من مدينتي اومسك وخاباروفسك .

وهكذا فان حادثتين - كتابة الخطابات في اليوم الأول واليوم الثاني من ايام الرحلة - وقعتا في مكان واحد من وجهة نظر المسافرتين (في نفس المكان من نفس عربة القطار) اما من وجهة نظر زوجيهما فان مكان وقوع احدهما يبعد عن مكان وقوع الاخرى بمئات الكيلومترات .

أيهما على صواب ؟ المسافرتان ام زوجاهما ؟ ليس لدينا ما يبرر تفضيل احدى وجهتي النظر على الأخرى . لذا يتضح أن لعبارة « في نفس المكان » معنى نسبياً فقط .

وكذلك فان القول بان نجمين ينطبقان في السماء يكتسب معنى فقط ، عندما نوضح أن الرصد يجري من نقطة على سطح الأرض . اذن فالقول بان حادثتين قد انطبقتا في الفراغ * ، ممكن فقط عندما نوضح بالنسبة لأي جسم نعين موقع هاتين الحادثتين .

وهكذا فمفهوم الموضع في الفراغ ، مفهوم نسبي أيضاً ، وعندما نتكلم عن موضع جسم في الفراغ فاننا دائماً نعنى موضعه بالنسبة لأجسام أخرى . أما اذا طلبت الاجابة على السؤال : اين يوجد هذا الجسم أو ذاك ؟ - دون الاشارة الى اجسام أخرى ، فاننا يجب أن نعترف بان مثل هذا السؤال بلا معنى .

كيف يتحرك الجسم في الواقع ؟

ينتج مما سبق ان مفهوم « انتقال جسم في الفراغ » هو مفهوم نسبي ايضاً ، لاننا اذا قلنا ان جسماً انتقل ، فان هذا يعنى فقط أنه غير موضعه بالنسبة الى اجسام اخرى .

واذا راقبنا حركة جسم من مختبرات ** تتحرك بعضها بالنسبة لبعض فان حركة هذا الجسم ستبدو بأشكال مختلفة تماماً . ولنأخذ مثلاً الحجر المرمى من طائرة وهي تطير . بالنسبة للطائرة سيسقط الحجر في خط مستقيم أما بالنسبة لمشاهد على سطح الأرض فان الحجر سيرسم منحني يعرف بالقطع المكافئ .

ولكن كيف يتحرك الحجر في الحقيقة ؟

إن لهذا السؤال معنى ضحلاً ، كضحالة السؤال عن زاوية إبصار القمر في الحقيقة ، هل هي زاوية إبصاره عندما نرصده من الشمس أم من الأرض ؟ فالشكل الهندسي للمنحنى الذي يتحرك عليه الجسم ، له صفة نسبية

* حدثاً في نفس المكان .

** يراد بالمختبر هنا محل المراقبة .

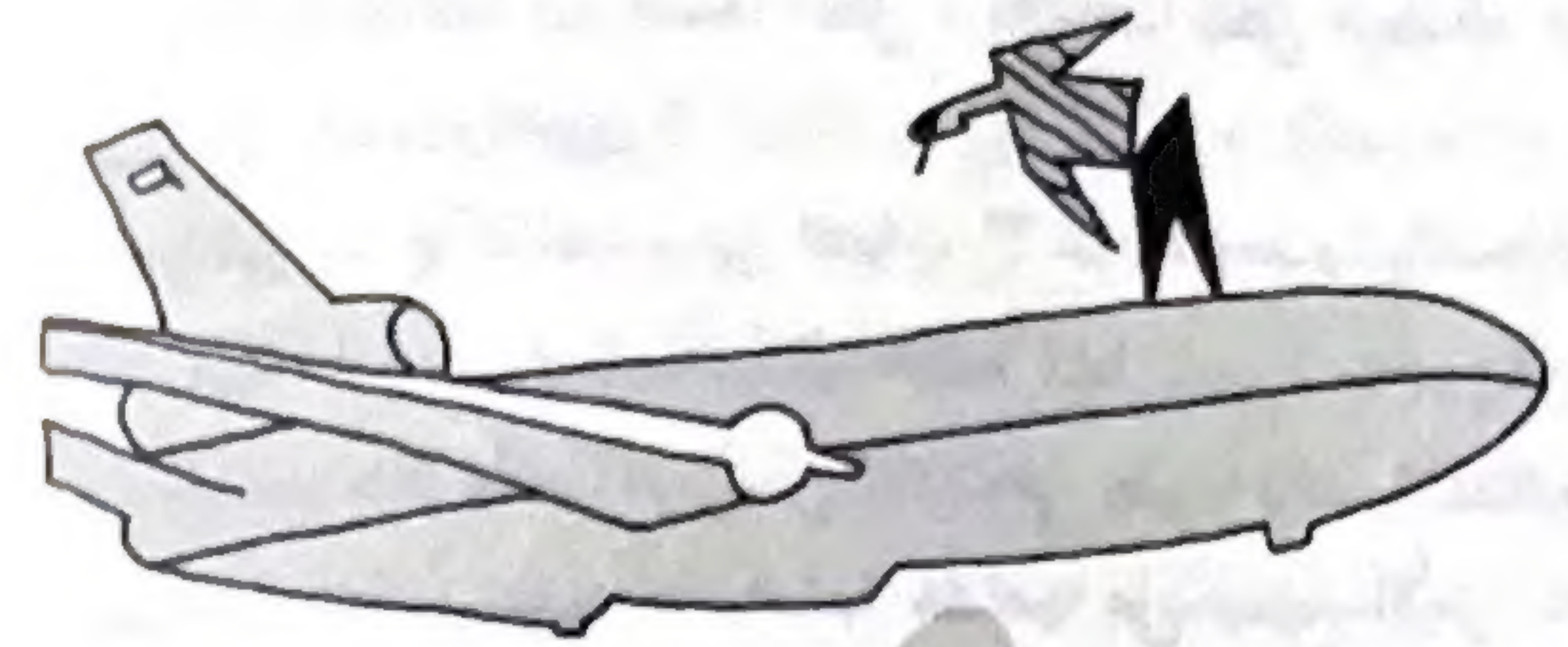
كالصور الفوتوغرافية لمبنى ما ، اذا صورناه من الامام ومن الخلف ، سنحصل على صور مختلفة ، كذلك اذا شاهدنا حركة الجسم من مختبرات مختلفة فاننا سنحصل على المنحنيات المختلفة لحركته .

هل كل وجهات النظر متكافئة ؟

لو حصرنا اهتمامنا عند متابعة حركة جسم في الفراغ ، في دراسة مساره (منحنى حركته) لتحديد اختيارنا لمكان الرصد انطلاقا من امكانية الحصول على أسهل وأنسب صورة .

والمصور الماهر عندما يختار زاوية للتصوير يحرص على جمال الصورة وعلى تناسقها .

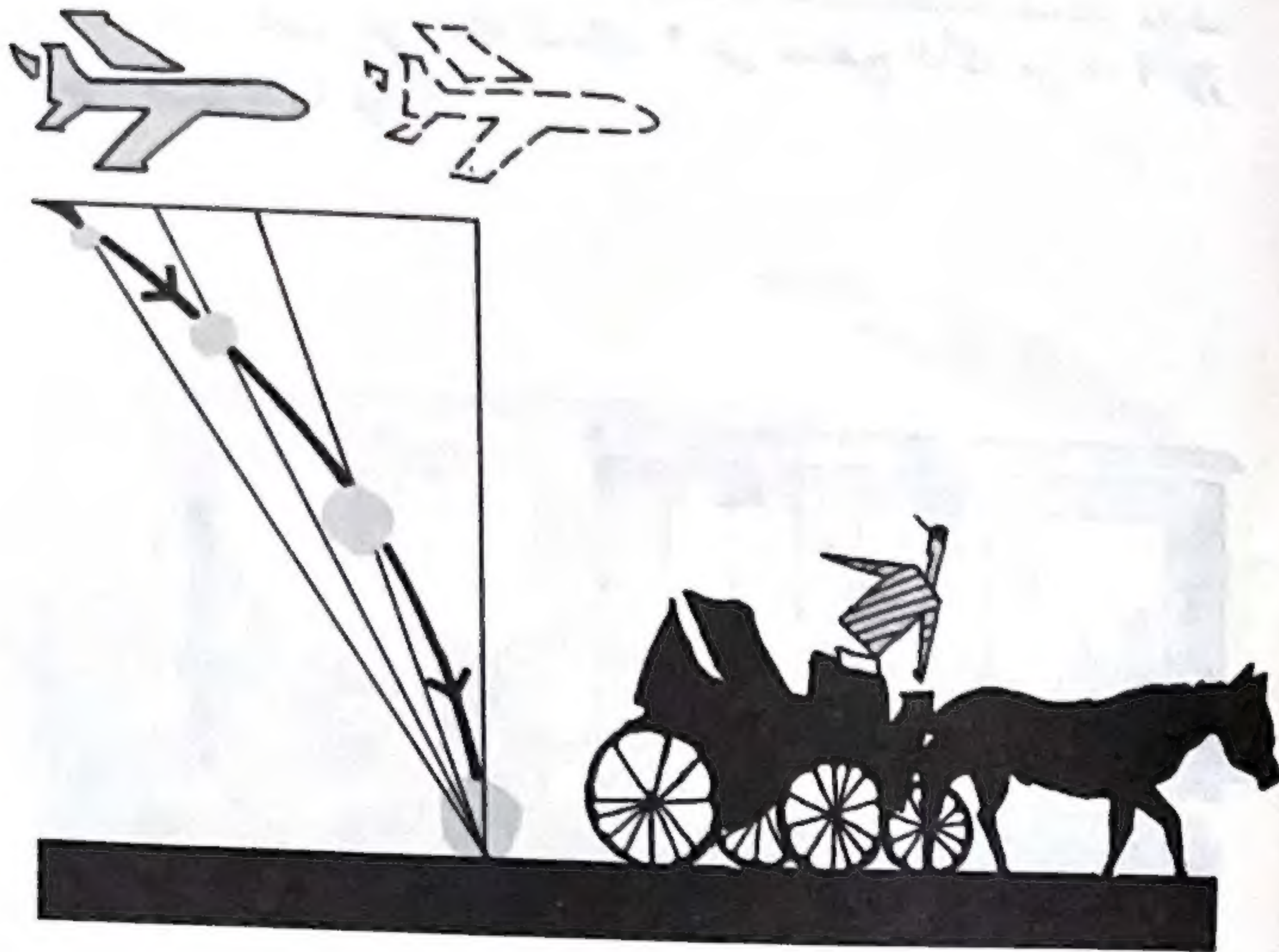
ولكن عند دراسة حركة الاجسام في الفراغ فان اهتمامنا يتعدى ذلك . اننا



لا نريد فقط معرفة المسار ولكن ايضا التنبؤ بالمسار الذي سيتحرك عليه الجسم . وبكلمات اخرى ، فاننا نريد ان نعرف القوانين المنظمة للحركة ، والقوانين التي تدير الجسم على ان يتحرك بهذا الشكل بالذات وليس بشكل آخر .

لنتناول مسألة نسبية الحركة من وجهة النظر هذه وسيوضح ان المواضع المختلفة في الفراغ ليست كلها متكافئة .

اذا ذهبنا إلى المصور لالتقاط صورة فوتوغرافية للبطاقة الشخصية ، فمن الطبيعي ان نرغب في ان يصورنا من الامام وليس من القفا . بهذه الرغبة بالذات ستحدد نقطة في الفراغ يجب على المصور ان يلتقط منها ، واننا سنرفض أى موضع آخر غير هذه النقطة على اساس انه لا يحقق الغرض بالشرط المطلوب .



السكون موجود !

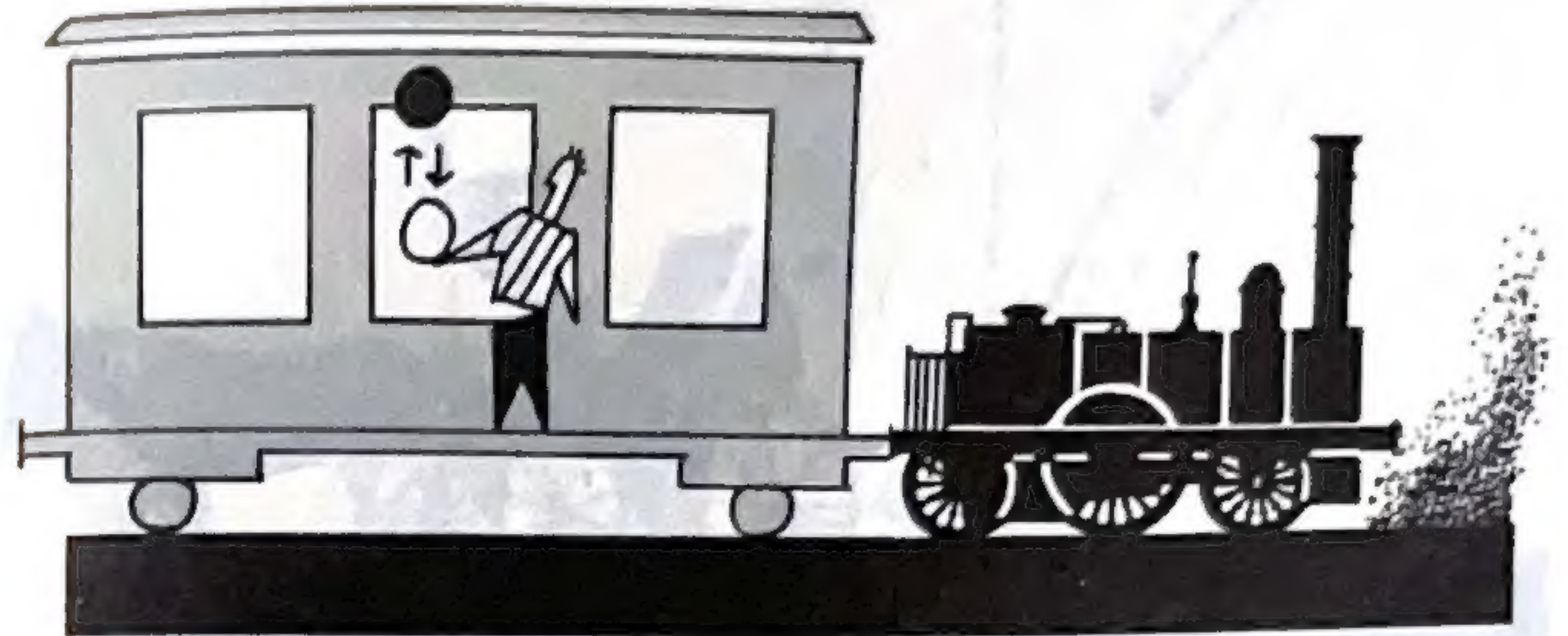
تؤثر على حركة الاجسام مؤثرات خارجية تسمى بالقوى ، ودراسة تأثير هذه القوى تساعدنا على بحث مسألة الحركة بشكل آخر .

لنفترض ان لدينا جسما لا تؤثر عليه اية قوة . سيتحرك الجسم حركة غريبة نوعا ما ، حسب المكان الذى سنراقبه منه ، ولو انه من الصعب ألا نعرف بان أكثر أمكنة المراقبة ملائمة هو المكان الذى يبدو منه الجسم ساكنا .

بهذا يمكننا ان نعطي الآن للسكون تعريفا جديدا لا يعتمد على حركة الجسم المعطى بالنسبة لاجسام اخرى . وهكذا فالجسم الذى لا تؤثر عليه اية قوة خارجية يوجد في حالة السكون .

المختبر الساكن

كيف نحصل على حالة السكون ؟ متى نستطيع التأكد من انه لا تؤثر على جسم ما اية قوة ؟



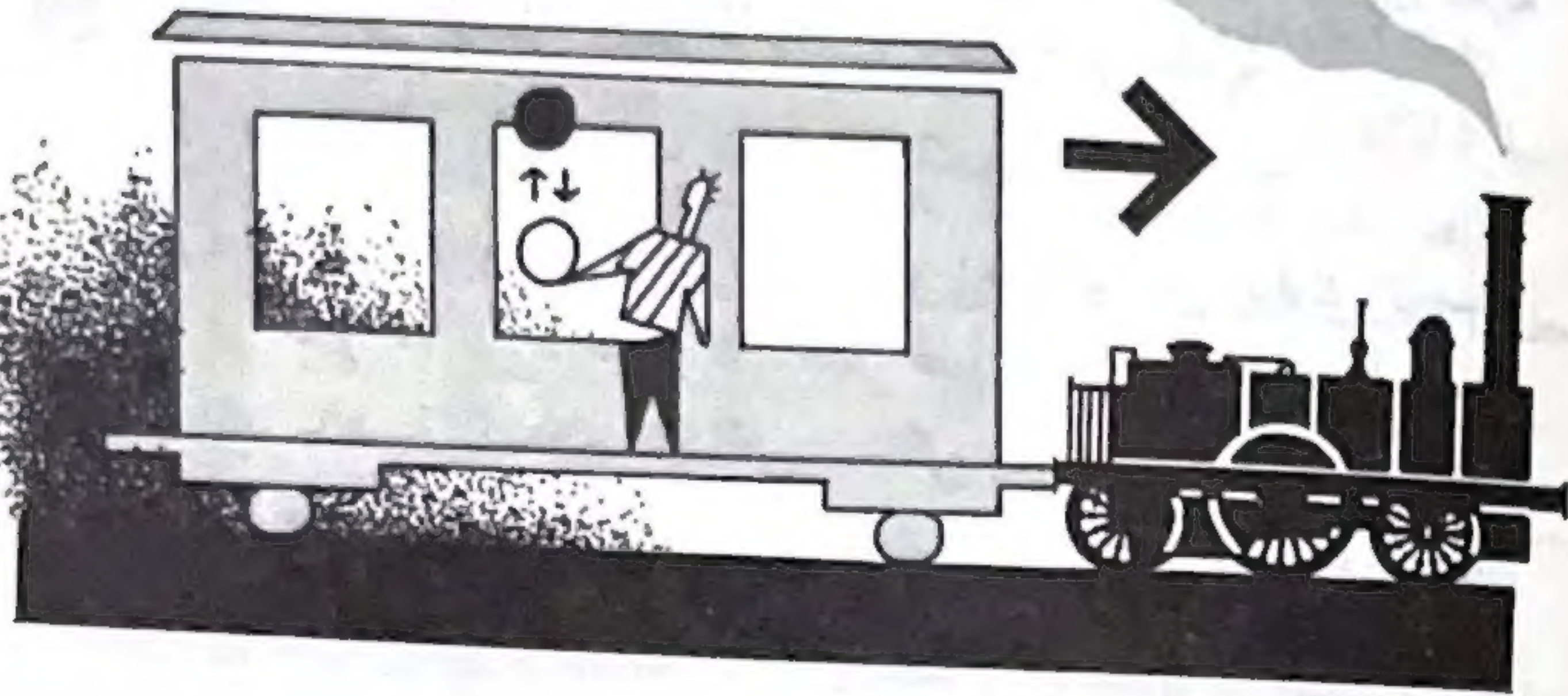
الامر واضح ، فيجب ان نبعد الجسم عن بقية الاجسام ، التى يمكن ان تؤثر عليه .

ومن مثل هذه الاجسام الساكنة ، يمكننا ولو نظريا تكوين مختبر كامل ومن ثم الحديث عن خواص الحركة التى نراقبها من هذا المختبر الذى نسميه مختبرا ساكنا .

واذا اختلفت خواص الحركة المراقبة من مختبر آخر عن خواصها المراقبة من المختبر الساكن ، فلنا كل الحق ، ان نؤكد ان المختبر الاول يتحرك .

هل يتحرك القطار ؟

بعد أن أوضحنا أن الحركة تخضع في المختبرات المتحركة لقوانين تختلف عن قوانين المختبرات الساكنة ، ربما يبدو لنا أن مفهوم الحركة قد فقد صفته النسبية لاننا من الآن فصاعدا عندما نتحدث عن الحركة يجب ان نعنى فقط الحركة بالنسبة للسكون ونسميها بالحركة المطلقة .



ولكن هل سنلاحظ في المختبر ، عند اية ازاحة له خروجنا عن قوانين حركة الاجسام الموجودة في المختبر الساكن ؟

لنستقل قطارا متحركاً بسرعة منتظمة على خط مستقيم ولنبدأ في ملاحظة حركة الاجسام في احدى عربات القطار ونقارنها بتلك التي تحدث في قطار واقف .

إن الخبرة اليومية تشير الى اننا في مثل هذا القطار المتحرك على خط مستقيم وبسرعة منتظمة لن نلاحظ اى حيد او اختلاف عن الحركة في القطار الواقف . فالكمل يعلم ان الكرة المقذوفة رأسياً الى اعلى في قطار متحرك ، تسقط مرة ثانية في أيدينا ونراها متحركة في خط مستقيم .

وإذا صرفنا النظر عن اهتزاز عربات القطار الذي لا يمكن تلافيه لاعتبارات تكتيكية فكل شيء في القطار المتحرك بسرعة ثابتة يحدث كما في القطار الساكن .

ولكن الامر يختلف اذا أبطأ القطار أو أسرع في حركته . في الحالة الاولى نندفع الى الامام وفي الثانية الى الخلف ونحس بوضوح باختلاف عن حالة السكون .

كذلك اذا غيّر القطار المتحرك بسرعة ثابتة اتجاه حركته فاننا سنحس بذلك . فمع الانعطاف المفاجئ الى اليمين سيطوح بنا الى الجهة اليسرى للعرية ومع الانعطاف الى اليسار سيطوح بنا الى الجهة اليمنى للعرية .

إذا عممنا هذه المشاهدات نصل الى النتيجة التالية : -

لا يمكن ان نشاهد في مختبر ما ، اى اختلاف عن سلوك الاجسام الموجودة في مختبر ساكن ، طالما كان هذا المختبر يتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم بالنسبة للمختبر الساكن . ولكن بمجرد ان تتغير سرعة المختبر المتحرك في المقدار (التعجيل او التقاصر) او في الاتجاه (الانعطاف) فان هذا ينعكس فوراً على سلوك الاجسام الموجودة فيه .

وفقد السكون نهائياً

ان الخاصية العجيبة لحركة مختبر بسرعة منتظمة على خط مستقيم ، اى عدم تأثيرها على سلوك الاجسام الموجودة فيه ، لتجبرنا على اعادة النظر في مفهوم السكون . يبدو ان حالة السكون وحالة الحركة المنتظمة على خط مستقيم لا تتميز احدهما عن الاخرى اطلاقاً . والمختبر الذي يتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم بالنسبة لمختبر ساكن ، يمكن اعتباره ساكناً بالذات . هذا يعنى انه لا يوجد سكون واحد فقط ، أو سكون مطلق ، ولكن هناك عدداً لا يحصى من حالات السكون . ولا يوجد مختبر « ساكن » واحد فقط ، ولكن هناك عدداً لا يحصى من المختبرات « الساكنة » التي تتحرك بعضها بالنسبة لبعض حركة منتظمة على خط مستقيم بسرعات مختلفة . اذا وحيث قد ظهر ان السكون ليس مفهوماً مطلقاً انما هو مفهوم نسبي يجب علينا دائماً ان نوضح بالنسبة لاي مختبر من هذا العدد اللانهائى من المختبرات المتحركة بعضها بالنسبة لبعض نشاهد الحركة . وهكذا فلم يخالفنا النجاح حتى الآن في جعل مفهوم الحركة ، مفهوماً مطلقاً .

ويبقى السؤال التالى مطروحاً على الدوام : - بالنسبة لأى « سكون » نشاهد الحركة ؟ وهكذا فقد توصلنا الى قانون من أهم قوانين الطبيعة ، يعرف عادة بمبدأ نسبى الحركة .

ونص هذا القانون هو : ان حركة الاجسام في كل المختبرات التي تتحرك بعضها بالنسبة لبعض بسرعة منتظمة على خط مستقيم تخضع لقوانين واحدة .

قانون القصور الذاتى

ينتج من مبدأ نسبى الحركة ان الجسم الذى لا تؤثر عليه اية قوة خارجية ، يمكنه ان يوجد ليس فقط في حالة سكون ، ولكن ايضا في حالة

حركة منتظمة على خط مستقيم . وتسمى هذه القاعدة في الفيزياء بقانون القصور الذاتي .

غير ان هذا القانون يبدو كما لو كان مستترا ولا يفصح عن نفسه مباشرة في الحياة اليومية . فحسب قانون القصور الذاتي يجب ان يستمر الجسم الموجود في حالة حركة منتظمة على خط مستقيم في حركته هذه الى ما لانهاية ، اذا لم تؤثر عليه اية قوة خارجية . ولكننا نعرف من مشاهداتنا ان الجسم الذي لا تؤثر عليه بقوة ما ، يتوقف عن الحركة .

ان السبب هنا يتلخص في ان كل الاجسام توجد تحت تأثير بعض القوى الخارجية - قوى الاحتكاك - وبذلك ينتفى الشرط الضروري لملاحظة قانون القصور الذاتي - شرط عدم وجود القوة الخارجية المؤثرة على الجسم . ولكن مع تحسين ظروف التجربة بتقليل قوى الاحتكاك يمكننا ان نقرب من الشروط المثالية ، الضرورية لملاحظة قانون القصور الذاتي ، مبرهين بذلك على صحة هذا القانون حتى بالنسبة للحركة التي نلاحظها في الحياة اليومية . ان اكتشاف مبدأ نسبية الحركة هو احد الاكتشافات العظيمة ، وبدونه لاستحال تطوير الفيزياء . ونحن مدينون بهذا الاكتشاف لعبقريه جاليليو . ولقد وقف جاليليو بشجاعة ضد تعاليم ارسطو ، التي كانت سائدة في ذلك العصر ، والتي كان يدعمها نفوذ الكنيسة الكاثوليكية ، تلك التعاليم التي كانت تقول بأن الحركة ممكنة فقط ، مع وجود قوة وانها تتوقف حتما بدونها . اوضح جاليليو بسلسلة من التجارب الرائعة ، ان سبب توقف الاجسام المتحركة هو بالعكس وجود قوة الاحتكاك ولو لم تكن هذه القوة موجودة لتحركت الاجسام حركة أبدية .

والسرعة ايضا نسبية ١

ينتج من مبدأ نسبية الحركة ، ان الحديث عن حركة جسم بصورة منتظمة على خط مستقيم وسرعة معينة ، دون الاشارة بالنسبة لأي المختبرات

الساكنة نقيس هذه السرعة ، هو حديث ضحل المعنى ، كالحديث عن الطول الجغرافي دون ان نحدد مسبقا ، من اي خط طول نبدأ القياس . يتضح اذن أن السرعة مفهوم نسبي ايضا . واذا عينا سرعة جسم واحد بالنسبة الى مختبرات مختلفة ، فاننا سنحصل على نتائج مختلفة . ولكن مع هذا ، فان لكل تغير في السرعة ، سواء كان تعجيلا او تقاصرا او تغيرا في الاتجاه معنى مطلقا ، لا يعتمد على اختيار المختبر الساكن الذي نشاهد منه الحركة .

الفصل الثالث

مأساة الضوء

الضوء لا ينتشر لحظيا

لقد تأكدنا من وجود مبدأ نسبية الحركة ومن وجود مجموعة لانهاية من المختبرات الساكنة . وقوانين الحركة في هذه المختبرات لا تختلف من مختبر لآخر . غير انه يوجد نوع من الحركة يتناقض للوهلة الاولى مع المبدأ الموضح سابقا . هذا النوع من الحركة هو انتشار الضوء .

ان الضوء لا ينتشر لحظيا ولو انه ينتشر بسرعة هائلة - ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ثانية .

ولا يمكننا أن نعقل مثل هذه السرعة الهائلة ، لاننا في حياتنا اليومية نتعامل مع سرع أقل من ذلك بما لا يقاس . فحتى سرعة صاروخ كوني سوفيتي مثلا ، وصلت الى ١٢ كم/ثانية فقط . والارض عند دورانها حول الشمس هي الجسم الاكبر سرعة من كل الاجسام التي نتعامل معها ، ولكن سرعة الارض هي ٣٠ كم/ثانية لا غير .

هل يمكن تغيير سرعة الضوء ؟

ان سرعة الضوء الهائلة بحد ذاتها لا تبدو شيئا مغرقا في الغرابة ولكن المدهش حقا هو انها تمتاز بثبات قاطع .

ويمكننا دائما بطرق مختلفة ان نبطئ او نعجل سرعة اى جسم حتى الرصاصة . نضع في طريق الرصاصة المنطلقة كيسا من الرمل فتفقد جزءا من سرعتها أثناء اختراقها للكيس وتخرج بسرعة أقل .

ولكن الامر مع الضوء يختلف كلية ، ففي الوقت الذى تعتمد فيه سرعة الرصاصة على تركيب السلاح الذى أطلقها وعلى طبيعة البارود في الطلقة ، لا تعتمد سرعة الضوء على مصدره فهي واحدة مهما كان المصدر .
والآن لنضع في طريق الشعاع الضوئى اسطوانة زجاجية ، ولما كانت سرعة الضوء في الزجاج أقل منها في الخلاء ، فعند مرور شعاع الضوء خلال الاسطوانة تقل سرعته ولكن ما ان يخرج حتى يعاود انتشاره بسرعة ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ثانية .

فانتشار الضوء في الخلاء بخلاف كل انواع الحركة الاخرى يمتاز بخاصية على درجة قصوى من الاهمية وهي انه لا يمكن ابطاؤه او تعجيله . ومهما يحدث للشعاع عند دخوله في المادة فبخروجه الى الخلاء يبدأ في الانتشار بالسرعة السابقة .

الضوء والصوت

وهذا الصدد فان انتشار الضوء لا يشبه حركة الأجسام العادية ، ولكن يشبه ظاهرة انتشار الصوت . فالصوت عبارة عن حركة اهتزازية للجزيئات الوسط الذى ينتقل فيه . ولذلك فان سرعته تتحدد بخواص الوسط ، وليس بخواص الجسم الذى يصدر الصوت . وسرعة الصوت مثلها مثل سرعة الضوء لا يمكن إنقاصها او زيادتها ، حتى لو مررنا الصوت خلال جسم ما .
فاذا وضعنا في طريق انتشار الصوت حاجزا معدنيا مثلا ، فان الصوت يغير من سرعته في المعدن ، ولكنه يكتسب سرعته الابتدائية حالما يعود الى الوسط الاول .

والآن ، لنضع في مخلخلة الهواء مصباحا كهربائين ثم نبدأ في سحب الهواء . سيضعف صوت الجرس حتى يصبح غير مسموع بالمرة ، أما المصباح فيستمر في الاضاءة كالسابق .
توضح هذه التجربة ان الصوت يمكنه الانتشار في وسط مادي فقط ،

بينما يستطيع الضوء الانتشار في الحلاء ، فضلا عن بعض الوسائط المادية .
وهذا هو الاختلاف الاساسى بينهما .

مبدأ نسبية الحركة يبدو مزعرا

لقد أدت سرعة الضوء في الحلاء - المائلة والمحدودة في نفس الوقت - الى تناقض مع مبدأ نسبية الحركة .

لتخيل قطارا متحركاً بسرعة هائلة - ٢٤٠ ... كم / ثانية ، لنجلس في مقدمة القطار وليضئ في آخره مصباح . كيف ستكون في هذه الحالة نتائج قياس الزمن اللازم للضوء كي يقطع المسافة من احدى نهايتى القطار الى النهاية الأخرى ؟

ان هذا الزمن على ما يبدو سيختلف عن ذلك الذى نحصل عليه في قطار ساكن . في الواقع ، بالنسبة للقطار المتحرك بسرعة ٢٤٠ ... كم / ثانية ، يجب ان تكون سرعة الضوء (الى الأمام في اتجاه القطار) $240 \dots - 300 \dots = 60 \dots$ كم / ثانية فقط . ويبدو الضوء كما لو كان يلاحق الجدار الأمامى لمقدمة القطار . ولو وضعنا المصباح في مقدمة القطار وقسنا الزمن اللازم للضوء كي يصل الى العربة الأخيرة فان سرعة الضوء في عكس اتجاه حركة القطار يجب ان تكون $240 \dots + 300 \dots = 540 \dots$ كم / ثانية (الضوء ومؤخرة القطار يتحركان ليتلاقيا مع بعضهما) .

وهكذا يتج ان الضوء في القطار المتحرك يجب ان ينتشر في الاتجاهات المختلفة بسرعات مختلفة بينما ينتشر الضوء في القطار الساكن بسرعات متساوية في كلا الاتجاهين .

أما بالنسبة للرصاصة ، فالامر يختلف كل الاختلاف . فسواء أطلقناها في اتجاه حركة القطار ، او في الاتجاه المعاكس ستكون سرعتها بالنسبة لجدران العربة ، ثابتة دائما ، ومساوية لسرعة انطلاقها من قطار ساكن . والسبب هو أن سرعة الرصاصة ، تعتمد على سرعة حركة السلاح الذى

تنطلق منه . أما سرعة الضوء ، فإنها لا تتغير بتغير سرعة حركة المصباح كما ذكرنا .

ويبدو أن هذا النقاش يبين بوضوح أن ظاهرة انتشار الضوء تتناقض تناقضا حادا مع مبدأ نسبية الحركة . فبينما تنطلق الرصاصة في القطار الساكن ، كما في القطار المتحرك ، بنفس السرعة بالنسبة لجدران عربة القطار ، يظهر أن الضوء في القطار المتحرك بسرعة ٢٤٠ ... كم / ثانية ، ينتشر في أحد الاتجاهين بسرعة أقل بخمس مرات ، وفي الاتجاه الآخر بسرعة أكبر بـ ١٨ مرة من سرعته في القطار الساكن .

وهكذا يبدو أن دراسة انتشار الضوء يجب أن توفر امكانية تحديد السرعة المطلقة للقطار .

ويلوح أمل : ألا يمكن بدراسة ظاهرة انتشار الضوء تحديد مفهوم للسكون المطلق ؟

فالمختبر الذى ينتشر فيه الضوء في كل الاتجاهات بنفس السرعة التى تساوى ٣٠٠ ... كم / ثانية ، يمكن تسميته بالمختبر الساكن ، وفي أى مختبر آخر يتحرك بالنسبة له بسرعة منتظمة على خط مستقيم فإن سرعة الضوء يجب أن تختلف في الاتجاهات المختلفة . وفي هذه الحالة لا توجد لا نسبية الحركة ولا نسبية السرعة ولا نسبية السكون على عكس ما أثبتناه سابقا .

الأثير الكونى

كيف يمكن فهم الأمور التى عرضناها سابقا ؟ لقد مر على علماء الفيزياء زمن استفادوا فيه من التشابه بين ظاهرتى انتشار الصوت وانتشار الضوء . وقياسا على ظاهرة انتشار الصوت افترضوا وجود وسط خاص ينتشر فيه الضوء كما ينتشر الصوت في الهواء وسموه بالأثير . وكذلك افترضوا أن أى جسم أثناء حركته عبر الأثير لا يسحب الأثير معه كما أن القفص المصنوع من قضبان متناهية الدقة لا يسحب الماء معه أثناء حركته فيه .

فإذا كان قطارنا ساكنا بالنسبة للأثير ، فإن الضوء سينتشر بنفس السرعة في الاتجاهات المختلفة . وحركة القطار بالنسبة للأثير ، مستطوح توا من اختلاف سرعة انتشار الضوء في الاتجاهات المختلفة .

ولكن فرض وجود الأثير - وهو الوسط الذي تظهر اهتزازاته على هيئة ضوء - يثير عددا من الأسئلة الحائرة . ففي البداية نجد بوضوح أن الفرض في حد ذاته مفتعل جدا . وفي الواقع ، نستطيع دراسة خواص الهواء ليس فقط بملاحظة انتشار الصوت فيه ، ولكن أيضا باستخدام طرق البحث الكيميائية والفيزيائية المتعددة . أما الأثير بالذات ، فلا يلعب أي دور في أكثر الظواهر . ويمكننا قياس كثافة الهواء وضغطه بأبسط المقاييس البدائية ، في الوقت الذي انتهت فيه كل المحاولات الرامية إلى معرفة أي شيء عن كثافة الأثير أو ضغطه بالفشل الذريع .

ظهرت إذن حالة غير معقولة .

يمكن طبعا « تفسير » أية ظاهرة من الظواهر الطبيعية باستخدام سائل معين ، له من الخواص ما يساعد على تفسير هذه الظاهرة . ولكن النظرية الحقيقية لتفسير ظاهرة ما ، تختلف عن مجرد إعادة صياغة الحقائق المعروفة بلغة العلماء لأن ما يتج عنها ، أكثر بكثير مما تعطيه الحقائق التي بنيت عليها النظرية . فمفهوم الذرة مثلا اقتحم العلم انطلاقا من مسائل الكيمياء ولكن هذا المفهوم ساعدنا على تفسير عدد هائل من الظواهر التي لا علاقة لها إطلاقا بالكيمياء وعلى التنبؤ بحدوث تلك الظواهر .

أما افتراض وجود الأثير ، فنحن في حل من تشبيهه ، بالتفسير الذي أعطاه رجل بدائي عندما سمع الجرامفون بافترضه وجود « روح جرامفونية » بداخل هذا الصندوق العجيب .

إن مثل هذه التفسيرات بالطبع لا تعني أي شيء .

ولقد مر علماء الفيزياء قبل افتراض وجود الأثير بتجارب مرة من هذا النوع . ففي وقت من الأوقات « فسروا » ظاهرة الاحتراق بخواص سائل معين

يعرف باسم الفلوجستين والظواهر الحرارية بخواص سائل آخر سموه بمولد الحرارة . وهذه المناسبة يمكن القول بأن كلا السائلين ، امتازا بالغموض المطلق ، كالأثير .

نشوء حالة صعبة

ولكن الأهم من كل ذلك أن إخلال الضوء بمبدأ نسبية الحركة كان يجب أن يؤدي بالضرورة إلى إخلال بقية الأجسام الأخرى بذلك المبدأ . إن أي وسط يبدى في الواقع مقاومة لحركة الأجسام فيه . لذلك كان يجب أن يصحب انتقال الأجسام في الأثير احتكاك يهدئ من سرعتها ، ليؤدي بها في النهاية إلى السكون . إن الأرض تدور منذ مليارات السنين (حسب المعطيات الجيولوجية) حول الشمس ، ولم يلاحظ أي نقص في سرعتها نتيجة احتكاكها بالأثير .

وهكذا فمحاولتنا تفسير التصرف العجيب للضوء في القطار المتحرك بفرض وجود الأثير ، وقعنا في إشكال ضخم . وافترض وجود الأثير لا يحل التناقض بين إخلال الضوء بمبدأ نسبية الحركة وخضوع الحركات الأخرى له .

يجب أن نحتكم إلى التجربة

كيف تتصرف إزاء هذه التناقضات ؟ قبل أن نبدي هذا الرأي أو ذاك لتذكر أننا قد توصلنا إلى التناقض بين انتشار الضوء ومبدأ نسبية الحركة انطلاقا من النقاش البحث .

حقا لقد كان نقاشا مقنعا للغاية ، ولكن الاكتفاء بالحوار فقط ، يجعلنا نشبه بعض الفلاسفة القدامى الذين حاولوا الحصول على قوانين الطبيعة من أدمغتهم الخاصة . وهنا يبرز بالضرورة خطر ، وهو أن العالم المبني بهذه الطريقة بكل تناسقه وجماله لا يشبه الواقع كثيرا .

فالتجربة إذن ، هي التي تصدر الحكم القاطع على صحة أية نظرية

فيزيائية . ومن الضروري ألا نكتفى بمناقشة نظرية لكيفية انتشار الضوء في قطار متحرك بل يجب الرجوع إلى التجارب التي ستوضح كيف يتحرك الضوء في الواقع في هذه الظروف .

ومن السهل إجراء مثل هذه التجربة لأننا أنفسنا نعيش على جسم متحرك . والأرض أثناء دورانها حول الشمس ، لا تتحرك مطلقا على خط مستقيم ، ومن ثم فلا يمكن أن توجد باستمرار في حالة سكون من وجهة نظر أى مختبر ساكن .

حتى إذا أخذنا في البدء المختبر الذى تكون الأرض بالنسبة له ساكنة في شهر يناير ، وحيث إن اتجاه حركة الأرض حول الشمس يتغير ، فمن المؤكد أنها في شهر يونيو ، ستوجد بالنسبة لهذا المختبر في حالة حركة . لذا فبدراستنا لانتشار الضوء على الكرة الأرضية ، ندرس في الواقع انتشار الضوء في مختبر متحرك على وجه التحديد . والأكثر من هذا إن الأرض تتحرك بسرعة ٣٠ كم/ثانية ، وهى سرعة هائلة بالنسبة لظروفنا (يمكن إهمال دوران الأرض حول محورها الذى يكسبها سرعة تصل إلى $\frac{1}{4}$ كم/ثانية) .

هل يحق لنا ، مع ذلك ، تمثيل الكرة الأرضية بالقطار المتحرك ، سابق الذكر ، والذى أدى بنا إلى المأزق ؟ فالقطار يتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم ، أما الأرض فتتحرك دائريا . نعم ، يحق لنا ذلك فلا بأس على الإطلاق ، من اعتبار أن الأرض تتحرك على خط مستقيم ، وبسرعة منتظمة خلال الفترة الزمنية لمرور الضوء عبر أجهزة القياس والتي لا تتعدى جزءا ضئيلا جدا من الثانية . والخطأ الذى يمكن أن يقع فيه هنا طفيف جدا ، بحيث لا يمكن اكتشافه .

وما دما قد شَبَّهنا الكرة الأرضية بالقطار ، فمن الطبيعى أن نتوقع أن يتصرف الضوء على الأرض بنفس الدرجة من الغرابة ، أى ينتشر في الاتجاهات المختلفة بسرعات مختلفة .

مبدأ النسبية ينتصر

لقد أجرى مايكلسون - أحد أعظم علماء الفيزياء التجريبية في القرن التاسع عشر - مثل هذه التجربة عام ١٨٨١ وقاس بدرجة عالية من الدقة ، سرعة الضوء بالنسبة للأرض في اتجاهات مختلفة . ولكى يدرك الاختلاف البسيط المتوقع في السرعة ، اضطر مايكلسون إلى استخدام معدات على درجة عالية من الدقة والحساسية ، وظهر في ذلك براعة وقدرة فائقة على الإبداع والابتكار . ولقد كانت التجربة على درجة عالية من الدقة بحيث كان من المستطاع ، إيجاد فروق في السرعة أقل كثيرا ، مما كان متوقعا .

لقد أدت تجربة مايكلسون التى أعيدت بعد ذلك أكثر من مرة في ظروف متباينة تماما إلى نتيجة غير متوقعة على الإطلاق . لقد أوضحت أن انتشار الضوء في المختبر المتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم ، يحدث في الواقع بشكل يختلف تماما عما تؤدى إليه دراستنا النظرية . وعلى وجه التحديد لاحظ مايكلسون أن الضوء ينتشر على الأرض (المتحركة) بسرعات متساوية في كافة الاتجاهات . وفي هذا الصدد فإن انتشار الضوء ، كانطلاق الرصاصة ، يتم في الاتجاهات المختلفة بسرعات متساوية بالنسبة إلى جدران المختبر بصرف النظر عن حركة المختبر (المنتظمة على خط مستقيم) .

وهكذا أوضحت تجربة مايكلسون ، أن ظاهرة انتشار الضوء ، على عكس دراستنا النظرية ، لا تتناقض على الإطلاق مع مبدأ نسبية الحركة ، بل على العكس توجد معه في تناقض كامل . وبكلمات أخرى يتضح أن مناقشتنا على الصفحة ٢٦ هى مناقشة خاطئة .

انتقلنا من حالة سيئة إلى حالة أسوأ

وهكذا أزالنا التجربة التناقض بين قوانين انتشار الضوء وبين مبدأ نسبية الحركة . وظهر أن ذلك التناقض كان مجرد تناقض موهوم نتج عن مناقشتنا الخاطئة . ولكن أين يكمن الخطأ على وجه التحديد ؟

إن البحث عن حل لهذا السؤال أتعب علماء الفيزياء في العالم كله مدة ربع قرن تقريبا من ١٨٨١ الى ١٩٠٥ ، ولكن كل التفسيرات المقترحة أدت إلى تناقضات مستمرة ، بين النظرية والتجربة .

إذا تحرك قفص مصنوع من قضبان دقيقة وفيه مراقب ، ور المراقب يحس بتيار من الهواء . وإذا كان مع المراقب في القفص مصدر للصوت يقيس سرعة الصوت بالنسبة للقفص ، لوجدناها في اتجاه حركة القفص ، أقل منها في الاتجاه المضاد . أما إذا وضعنا مصدر الصوت في قطار مغلق التوافذ والأبواب ، وقسنا سرعة الصوت فيه ، وحيث إن مثل هذا القطار يجر معه الهواء الذي بداخله ، فإنا نجد أن سرعة الصوت متساوية في كافة الاتجاهات .

وإذا انتقلنا من ظاهرة انتشار الصوت إلى الضوء لكان باستطاعتنا فرض تفسير نتائج تجربة مايكلسون بما يلي : عندما تتحرك الأرض فهي لا تترك الأثير ساكنا وتمر من خلاله كالقفص المصنوع من قضبان دقيقة ، ولكنها تجره معها ، مكونة معه أثناء حركتها كتلة واحدة . وهكذا تصبح نتائج تجربة مايكلسون مفهومة .

ولكن هذا الفرض ، يتعارض تعارضا حادا مع مجموعة كبيرة من التجارب الأخرى . فهو يتعارض مثلا مع خواص انتشار الضوء في انبوبة يجري في داخلها ماء ، لأنه لو كان الفرض صحيحا ، لوجدنا أن سرعة الضوء باتجاه مجرى الماء ، تساوى سرعة الضوء في الماء الساكن ، مضافا إليها سرعة الماء . ولكن القياسات المباشرة تعطى سرعة أقل من تلك المتوقعة من مناقشتنا هذه . هذا ، فضلا عن أننا تحدثنا عن حالة غاية في الغرابة هي أن الأجسام عند حركتها خلال الأثير لا تعاني أى احتكاك . أما إذا كانت الأجسام لا تمر خلال الأثير فقط ، ولكنها تجره معها ، فإن الاحتكاك لابد أن يكون محسوسا على أى حال .

وهكذا انتهت بالفشل كل محاولات إزالة التناقض الذى أدت إليه النتائج غير المتوقعة لتجربة مايكلسون .

والآن نلخص الحديث بما يلي :
إن تجربة مايكلسون تؤكد مبدأ نسبية الحركة ليس فقط لحركة الأجسام العادية ، ولكن أيضا لخاصية انتشار الضوء ، أى لجميع ظواهر الطبيعة . وقد اتضح مما سبق ، أن مبدأ نسبية الحركة ، يؤدي بشكل مباشر إلى نسبة السرعة : يختلف مقدار السرعة من مختبر إلى آخر يتحرك بالنسبة له . ولكن سرعة الضوء - ٣٠٠ ٠٠٠ كم / ثانية - لا تتغير في المختبرات المختلفة ، وبالتالي فهي ليست نسبية بل مطلقة !

الفصل الرابع

اتساح نية الوقت

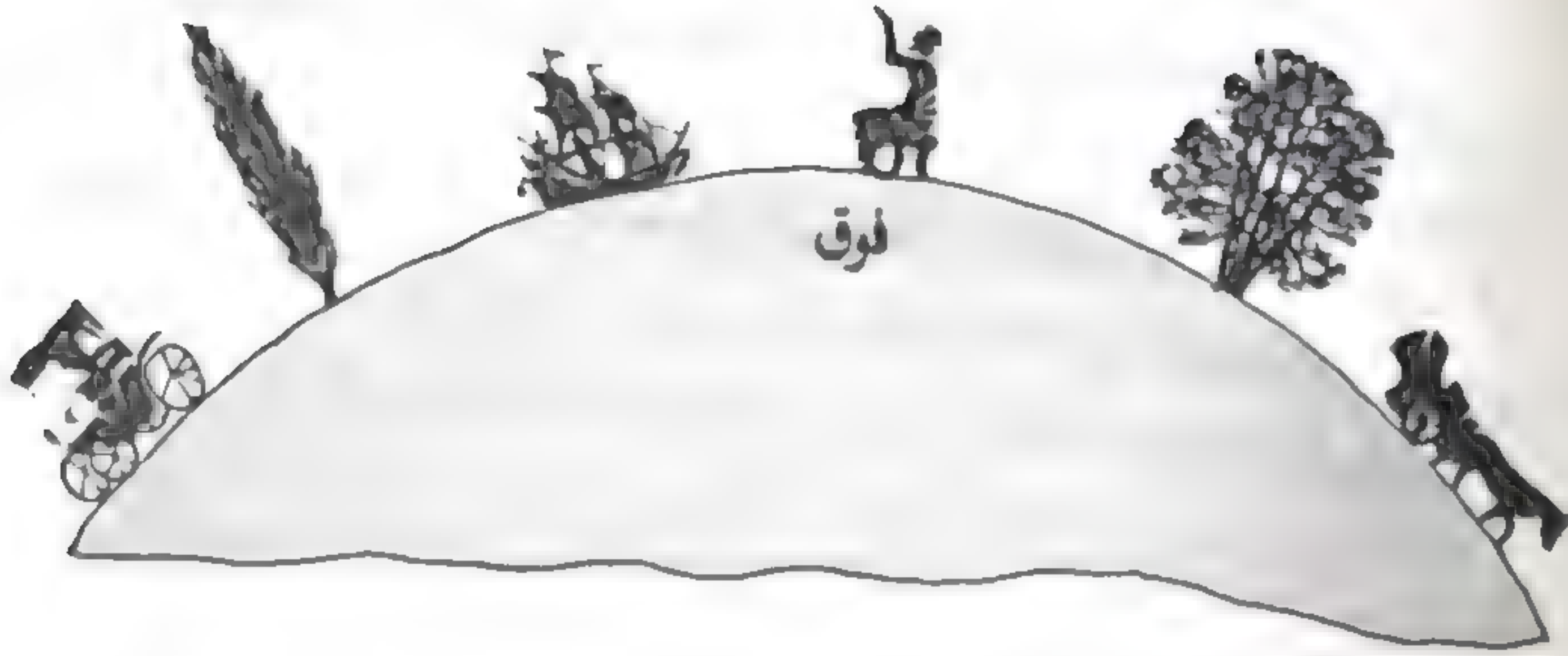
هل يوجد تناقض في الواقع ؟

يبدو للوهلة الأولى ، أننا نواجه تناقضا منطقيا بحتا . ان ثبات سرعة الضوء في مختلف الاتجاهات يؤكد مبدأ النسبية ، في الوقت الذي تكون فيه سرعة الضوء مطلقة .

لنتذكر موقف الانسان في القرون الوسطى ، من الواقع القائل بأن الأرض كروية : إن كروية الأرض بالنسبة لذلك الانسان ، كانت تناقض تماما ، وجود قوة الجاذبية الأرضية إذ ان جميع الأجسام كان يجب أن تتساقط عن الأرض « إلى أسفل » . ولكننا في الوقت نفسه نعلم بالتأكيد أنه ليس هناك أى تناقض منطقي في ذلك . كل ما في الأمر أن مفهومى الـ « أعلى » والـ « أسفل » هما مفهومان نسبيان غير مطلقين .

إن نفس الحالة تنطبق على ظاهرة انتشار الضوء .

وسيكون من العبث البحث عن تناقض منطقي بين مبدأ نسبية الحركة ومطلقة سرعة الضوء . ذلك لأن التناقض هنا يظهر لمجرد أننا في هذه الحالة أدخلنا ، دون أن نشعر ، فروضا إضافية أخرى ، تماما كما كان عليه الأمر مع الناس في القرون الوسطى ، حينما أنكروا كروية الأرض ، مستندين على اعتبارهم مفهومى الـ « أعلى » والـ « أسفل » مفهومين مطلقين . إن الايمان بمطلقية الـ « أعلى » والـ « أسفل » ، المضحك بالنسبة لنا ، جاء نتيجة لافتقار هؤلاء الناس للتجربة ، لأنهم في ذلك الوقت قلما كانوا يسافرون ، ولم يكونوا ليعرفون سوى مساحات ضئيلة من سطح الأرض . وبديهي أن شيئا مماثلا حدث لنا كذلك ، بسبب افتقارنا للتجربة ، حيث كنا نعتبر الأشياء النسبية وكأنها مطلقة .



فما هي تلك الأشياء بالذات ؟
ولأجل الكشف عن خطأنا ، سنعمد في المستقبل فقط على الاعتبارات التي تثبت التجربة .

فلنستقل القطار

لنتصور قطارا يبلغ طوله ... ٤٠٠ هـ كم ، يتحرك على خط مستقيم بسرعة منتظمة تبلغ ... ٢٤٠ كم/ثانية .

ولنفترض أن مصباحا أوقد في وسط القطار ، في لحظة زمنية معينة من أوقات السفر . وقد نصبت ، في العربتين الأولى والأخيرة ، أبواب آلية تفتح في تلك اللحظة التي تتعرض فيها لأشعة الضوء . فما الذي سيراه الناس الجالسون في القطار والناس الواقفون على الرصيف ؟



للإجابة على هذا السؤال سنستخدم ، كما اتفقنا ، على التجارب فحسب .
إن الجالسين في وسط القطار سيرون الآتي : بما أن الضوء حسب تجربة
مايكلسون ينتشر بسرعة واحدة في جميع الاتجاهات ، بالنسبة للقطار ، أى
بسرعة 300.000 كم/ثانية ، ففي هذه الحالة سيصل الضوء بعد 9 ثوان
 $(\frac{2700.000}{300.000})$ الى العريتين الأولى والأخيرة في آن واحد ، وسيفتح البابان في
آن واحد .

فما الذى سيراه الواقفون على الرصيف ؟ ينتشر الضوء بالنسبة للمحطة
بسرعة 300.000 كم/ثانية ايضا . غير أن العربة الأخيرة تسير لملاقاة شعاع
الضوء . ولهذا فإن الضوء سيتقابل مع العربة الأخيرة بعد مضي
 $\frac{2700.000}{240.000 + 300.000} = 5$ ثوان . أما بالنسبة للعربة الأولى ، فيجب على شعاع
الضوء ان يلاحقها ، ولذلك فلن يصلها إلا بعد مضي
 $\frac{2700.000}{240.000 - 300.000} = 45$ ثانية .

إذن ، فسيبدو للواقفين على الرصيف ، أن أبواب القطار لم تفتح في آن
واحد . ففي البداية ستفتح أبواب العربة الأخيرة ، أما ابواب العربة الأولى فلن
تفتح إلا بعد مضي $45 - 5 = 40$ ثانية .*

وفي هذه الحالة ، فإن الحادثين المتماثلين أى فتح أبواب عربتي القطار
الأولى والأخيرة ، يدوان للجالسين في القطار ، وكأنهما يجريان في آن واحد ،
أما بالنسبة للواقفين على الرصيف ، فإنهما يدوان منفصلين بفترة زمنية قدرها
 40 ثانية .

هزيمة « العقل السليم »

هل يوجد في ذلك تناقض ؟ أفلا تبدو هذه الحقيقة التى اكتشفناها ،
مجرد هراء كأن نقول مثلا : طول التماسح من الذنب الى الرأس متران ، ومن
الرأس الى الذنب ، متر واحد ؟

* فيما بعد سنشرح هذه المفاهيم بصورة أدق (انظر صفحة ٥٥) .

فلنحاول أن نفهم لماذا تبدو النتيجة التى توصلنا إليها غير معقولة ، رغم
أنها في وفاق تام مع التجربة .

مهما فكرنا في ذلك ، فلن نستطيع أن نجد تناقضا منطقيا في ان
الحادثين اللذين جريا في آن واحد بالنسبة للمسافرين في القطار ، بدوا
منفصلين بفترة قدرها 40 ثانية بالنسبة للواقفين على الرصيف .
ان الشيء الوحيد الذى يمكن أن نعزى به أنفسنا ، هو أن استنتاجاتنا

تتناقض مع « العقل السليم » .

ولنتذكر كيف كان « العقل السليم » للانسان في القرون الوسطى
يعارض حقيقة دوران الأرض حول الشمس ! في الواقع ، كانت التجربة اليومية
تؤكد لانسان القرون الوسطى أن الأرض مستقرة والشمس تدور حولها .
أفليس الناس بمدينين لـ « العقل السليم » ، الذى قادهم الى براهين
مضحكة ، تؤكد عدم إمكانية كروية الأرض ؟

لقد سُخر من تعارض « العقل السليم » مع الواقع ، في النادرة المعروفة ،
عن المزارع الذى رأى زرافة في حديقة الحيوان فصرخ متعجبا : « هذا غير
ممكناً ! » .

إن ما يسمى بالعقل السليم ، ليس إلا مجرد تعميم لتصوراتنا ، النابعة من
الحياة اليومية .

وهذا مستوى معين للادراك ، يعكس مستوى التجربة .
إن صعوبة إدراك أن الحادثين اللذين يجريان في القطار في آن واحد ،
سيبدوان بصورة مختلفة ، في حالة وجودنا على الرصيف ، تماثل الصعوبة التى
واجهها المزارع ، الذى أثار دهشته منظر الزرافة . فالمزارع لم ير الزرافة من
قبل ، كما أننا ما تحركنا أبدا بسرعة تقترب ، ولو إلى حد ما ، من السرعة
الأسطورية التى تبلغ 240.000 كم/ثانية . وليس بالغريب أن الفيزيائيين إذ
يواجهون مثل هذه السرعة الأسطورية ، فإنهم يلاحظون وقائع ، تختلف اختلافا
جوهريا عن تلك الوقائع التى ألفناها في حياتنا اليومية .

ان النتيجة المفاجئة التى توصلنا إليها من تجربة مايكلسون ، والتى

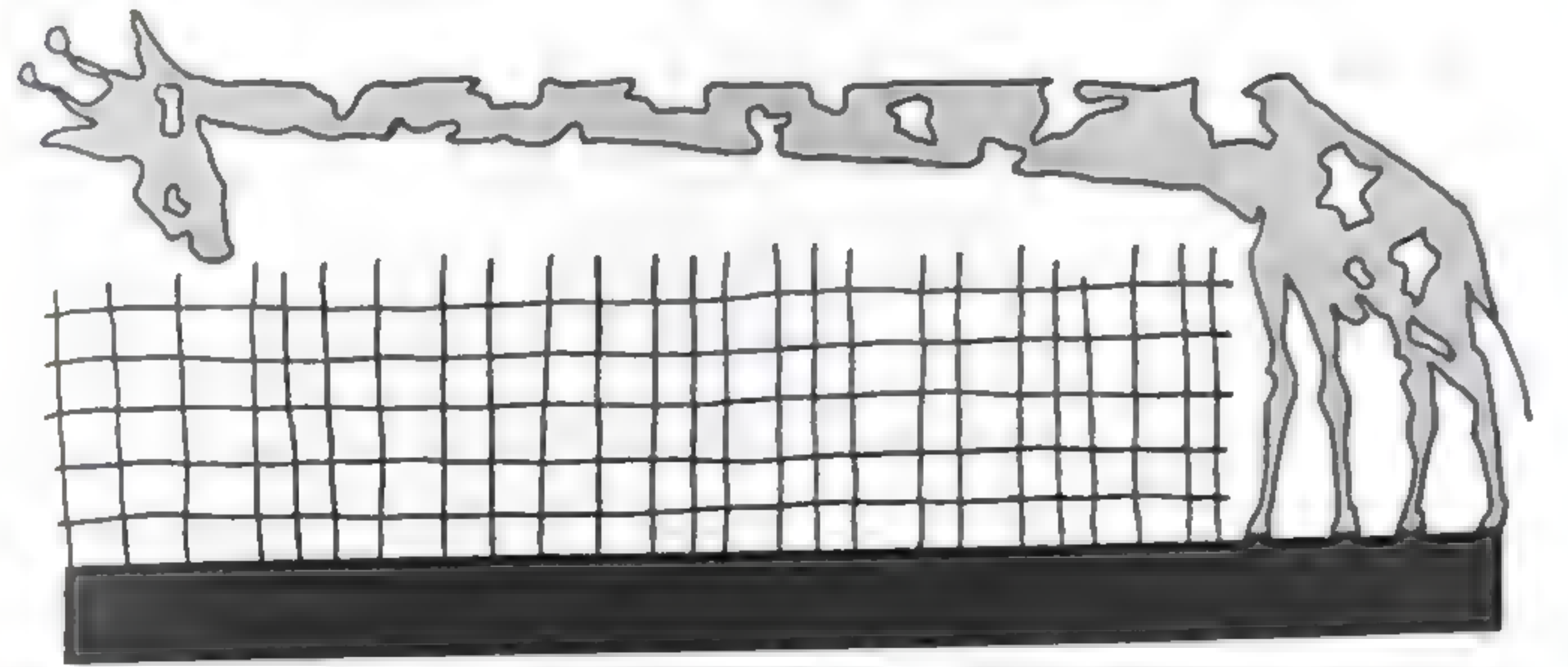
وضعت الفيزيائيين أمام هذه الوقائع الجديدة ، حملتهم على إعادة النظر ، على الرغم من « العقل السليم » ، في التصورات الراسخة في أذهاننا ، والتي اعتدنا عليها ، كوقوع حادثين في آن واحد .

ويديهي ، أنه كان في استطاعتنا أن نتمسك بـ « العقل السليم » وبالتالي أن ننكر وجود ظواهر جديدة ، غير أننا لو كنا قد فعلنا ذلك ، لأصبحنا على غرار ذلك المزارع في النادرة التي سبق ذكرها .

الزمن يلاق نفس مصير الفراغ

إن العلم لا يخشى الاصطدام بما يسمى بالعقل السليم ، بل إن ما يخيفه ، هو عدم التوافق بين التصورات الموجودة فعلا ، وبين المعلومات التجريبية الجديدة . فإذا ما حدث ذلك ، فإن العلم يحطم ، دون رحمة ، التصورات القائمة ، ويرفع بذلك إدراكنا الى درجة أعلى .

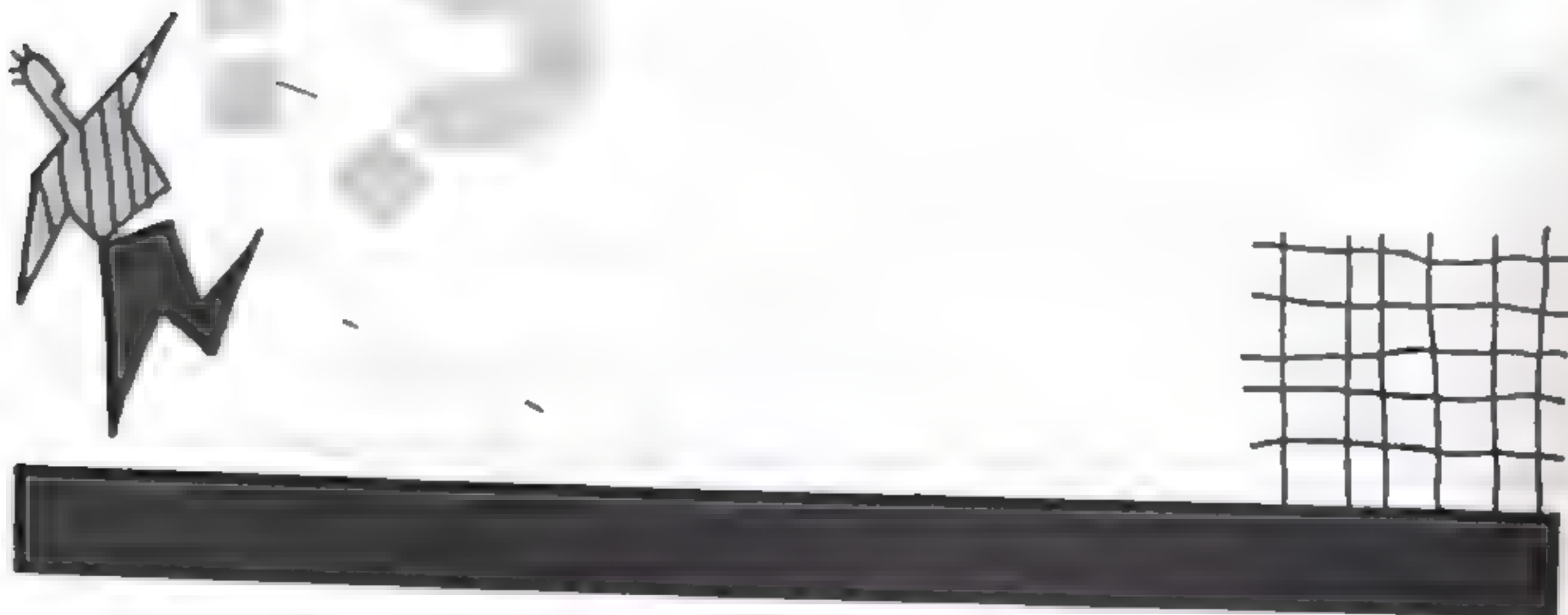
لقد كنا نعتبر أن الحادثين الآنيين يتآن في آن واحد في أى مختبر . غير أن التجربة أوصلتنا إلى نتيجة أخرى ، فقد اتضح أن هذا صحيح فقط في حالة سكون المختبرين بالنسبة لبعضهما . وإذا ما تحرك المختبران ، أحدهما بالنسبة للآخر ، فإن الحادثين الآنيين ، في أحد المختبرين ، يجب أن يتآن في وقتين مختلفين في المختبر الآخر . إن مفهوم آنية الحادثين ، يصبح نسبيا ،



ويكون له معنى فقط في تلك الحالة التي نبين فيها كيفية حركة المختبر ، الذي يراقب منه هذان الحادثان .

ولنتذكر المثال المتعلق بالقيم الزاوية ، وهو المثال الذي تطرقنا اليه في صفحة ١٠ . فكيف كان الأمر هناك ؟ لنفترض أن المسافة الزاوية بين النجمين ، تساوى صفرا في حالة مراقبتهما من الأرض ، وذلك لوقوع النجمين على خط مستقيم واحد . ونحن لا نواجه في حياتنا اليومية أى تناقض مع هذا الفرض ، وذلك إذا اعتبرنا هذا الفرض مطلقا . غير أن الأمر يتغير ، إذا ما تركنا حدود مجموعتنا الشمسية ، وراقبنا نفس النجمين من أية نقطة أخرى في الفضاء . ففي هذه الحالة ، المسافة الزاوية لا تساوى صفرا ، بل مقدارا آخر . إن هذه الحقيقة الواضحة لإنسان عصرنا هذا ، والتي تقول بأن النجمين اللذين ينطبقان عند مراقبتهما من الأرض يمكن ألا ينطبقا عند مراقبتهما من نقاط أخرى في الفضاء ، كانت تبدو غير معقولة لإنسان القرون الوسطى ، الذي كان يتصور السماء قبة ترصعها النجوم .

ولنفترض أنه طرح علينا السؤال التالي : هل يمكننا في الواقع ، اعتبار الحادثين آنيين أم لا ، إذا ما غضضنا النظر عن المختبرات بوجه عام ؟ إن هذا السؤال ، للأسف ، لا يحتوى على معنى ، أكثر مما يحتوى عليه السؤال التالي : إذا ما تجاهلنا النقاط التي تجري المراقبة منها ، فهل يقع النجمان ، في



الواقع ، على خط مستقيم واحد أم لا ؟ إن جوهر الأمر هنا ، هو أن الوقوع على خط مستقيم واحد ، لا يتوقف على حالة النجمين فحسب ، بل وكذلك على النقطة التي تجرى منها المراقبة . وينطبق نفس الشيء على آنية الحادثين ، التي لا تتوقف على الحادثين وحسب ، بل وكذلك على المختبر الذي تتم منه مراقبة هذين الحادثين .

لقد التقينا حتى الآن بسرعه صغيرة بالمقارنة مع سرعة الضوء ، لذلك فإننا لم نستطع اكتشاف نسبية مفهوم الآنية . أما إذا ما تطرقنا إلى دراسة الحركة ذات السرعة التي يمكن مقارنتها بسرعة الضوء ، فإننا نضطر إلى إعادة النظر في مفهوم الآنية .

وبنفس هذه الطريقة تماما ، اضطر الناس إلى إعادة النظر في مفهومى الـ « أعلى » والـ « أسفل » ، عندما أخذوا يقطعون مسافات ، يمكن مقارنتها بأبعاد الأرض . أما قبل ذلك ، فإن تصور شكل الأرض مسطحا ، لم يكن يؤدي إلى أى تناقض مع التجربة .

والحقيقة ، فإننا لا نستطيع الحركة بسرعه تقترب من سرعة الضوء ، ولذلك فلا يمكننا أن نراقب ، بتجربتنا الذاتية ، الوقائع المتناقضة من وجهة نظر التصورات القديمة ، تلك الوقائع التي تحدثنا عنها توا . ولكنه يمكننا بفضل التكنيك الحديث في إجراء التجارب الفيزيائية ، أن نؤكد هذه الوقائع بملء الثقة ، في عديد من الظواهر الفيزيائية .

إذا ، فقد لقي الزمن مصير الفراغ ! واتضح أن عبارة « في آن واحد » مجردة من المعنى تماما ، كما هو الأمر مع عبارة « في نفس المكان » . إن الفترة الزمنية بين الحادثين ، هي تماما كالمسافة الفراغية بينهما ، تتطلب الإشارة إلى المختبر الذي تتم منه مراقبة الحادثين .

العلم يتتصر

إن اكتشاف واقع نسبية الزمن ، هو بمثابة تحول عميق في تصورات الانسان للطبيعة . وهو من أهم انتصارات العقل الانسانى على جمود

التصورات الراسخة طوال عدة قرون . ويمكن أن نقارن هذا الاكتشاف بانقلاب التصورات الانسانية ، المتعلقة باكتشاف واقع كروية الأرض . وقد تم اكتشاف نسبية الزمن عام ١٩٠٥ من قبل العالم الفيزيائى الكبير ألبرت آينشتاين (١٨٨٠ - ١٩٥٥) ، الذى يعتبر من أعظم علماء القرن العشرين قاطبة . وقد رفع هذا الاكتشاف آينشتاين ، الذى كان يبلغ الخامسة والعشرين من عمره ، إلى صفوف عمالقة الفكر الانسانى . وقد أصبح اسمه خالدا في ذاكرتنا خلود كل من كوبرنيكس ونيوتن لأنه شق طرقا جديدة في حقول العلم .

وكان لينين يعتبر ألبرت آينشتاين واحدا من « أكبر العلماء الذين طوروا العلوم الطبيعية » .
إن نظرية نسبية الزمن ، والنتائج الناجمة عنها ، تسمى كالعادة بنظرية النسبية . ولا يجب أن نخلط بينها وبين مبدأ نسبية الحركة .

للسرعة حدود

كانت الطائرات تحلق ، قبل الحرب العالمية الثانية ، بسرعه تقل عن سرعة الصوت . أما الآن فقد صنعت طائرات تفوق سرعتها سرعة الصوت . إن الموجات اللاسلكية تنتشر بسرعة الضوء . أفلا يمكن أن نضع أمامنا مهمة إنشاء تليفراف ، تفوق سرعته سرعة الضوء ، بغية إرسال الاشارات بسرعة تفوق سرعة الضوء ؟ لقد اتضح أن هذا الأمر مستحيل .

وفي الواقع ، فلو كان باستطاعتنا أن نرسل الاشارات بسرعة لانهاية ، لكان بإمكاننا ان نحقق آنية الحادثين بصورة مطلقة ولاستطعنا أن نقول إن هذين الحادثين قد وقعا في آن واحد ، وذلك إذا كانت الاشارة ذات السرعة اللانهائية والخاصة بالحادث الأول قد وصلت في آن واحد مع الاشارة الخاصة بالحادث الثانى . وفي هذه الحالة ستصبح لآنية الحادثين ، سمات مطلقة ، لا تتوقف على حركة المختبر الذى تجرى منه المراقبة .

وهكذا ، نستنتج ان إرسال الاشارات لا يمكن أن يتم في لمح البصر ،

وذلك لان التجربة تدحض مطلقة الزمن . إن سرعة الإرسال من نقطة في الفراغ الى نقطة أخرى ، لا يمكن أن تكون لانهاية ، او بمعنى آخر لا يمكنها أن تزيد على قيمة نهائية معينة ، تسمى بالسرعة القصوى .
إن هذه السرعة القصوى تطابق سرعة الضوء .

في الواقع ، فموجب مبدأ نسبية الحركة يجب أن تكون قوانين الطبيعة واحدة في جميع المختبرات المتحركة بالنسبة لبعضها البعض (بسرعة منتظمة على خط مستقيم) . إن الإقرار بأن السرعة لا يمكن أن تزيد على حد معين ، هو قانون طبيعي ، ولذا يجب أن تكون قيمة السرعة القصوى متساوية تمام في مختلف المختبرات . وكما نعرف ، فإن لسرعة الضوء نفس هذه الخواص .

إذا ، فإن سرعة الضوء ليست مجرد سرعة انتشار إحدى الظواهر الطبيعية ، بل إنها تلعب دورا هاما ، كسرعة قصوى .

إن اكتشاف وجود السرعة القصوى في العالم ، هو من أهم انتصارات الفكر الانساني وإمكانيات الانسان التجريبية .

إن فيزيائي القرن الماضي لم يدرك أن هناك سرعة قصوى في العالم ، وأنه يمكن إثبات حقيقة وجودها . وبالإضافة الى هذا فحتى إذا اصطدم ، اثناء تجاربه ، بوجود السرعة القصوى في الطبيعة ، فإنه لم يكن يستطيع الوثوق بأن هذا هو قانون الطبيعة ، وليس نتيجة قصور في الامكانيات التجريبية يمكن إزالته بتطور التكنيك .

إن مبدأ النسبية بين أن وجود السرعة القصوى يكمن في طبيعة الأشياء بالذات . إن الظن بأن تقدم التكنيك سيمكن من بلوغ سرع تزيد على سرعة الضوء ، أمر مضحك تماما ، كما لو ظننا بأن عدم وجود نقاط على سطح الأرض تبعد إحداها عن الأخرى بمسافة تزيد على ٢٠٠٠٠ كم ، هو ليس بقانون جغرافي ، بل هو عبارة عن ضعف في معلوماتنا ، ونأمل بأننا سوف نستطيع ، بتطور علم الجغرافيا أن نجد نقاطا على سطح الأرض تبعد عن بعضها بمسافة تزيد على ذلك بكثير .

إن لسرعة الضوء أهمية منقطعة النظير في الطبيعة ، وذلك لأنها أقصى

سرعة يمكن أن تنتشر بها كل الأشياء قاطبة . إن الضوء ، إما أن يسبق أية صدمة أخرى ، او على الأقل ، يصل معها في آن واحد .
لو حدث أن انقسمت الشمس الى قسمين ، وتكون نجم مزدوج ،

لتغيرت حركة الأرض بطبيعة الحال .
إن فيزيائي القرن الماضي ، الذي لم يكن يعرف شيئا عن وجود السرعة القصوى في الطبيعة ، كان سيفترض بالتأكيد أن تغير حركة الأرض يجب أن يحدث فور انقسام الشمس . بيد أن الضوء ، سيحتاج الى ٨ دقائق للوصول من الشمس المنقسمة الى الأرض .

ولكن في الواقع ، فإن تغير حركة الأرض سيبدأ كذلك بعد مضي ٨ دقائق على انقسام الشمس . أما قبل هذه اللحظة ، فإن الأرض تستمر في حركتها ، كما لو أن الشمس لم تنقسم . وعلى وجه العموم ، فلا يمكن لأي شيء يحدث للشمس أو عليها ، أن يؤثر أي تأثير على الأرض وحركتها ، قبل انقضاء ٨ دقائق .

وبالطبع ، فإن السرعة المحدودة لانتشار الاشارات ، لا نغرمنا إمكانية إثبات أية حادثين ما . ولهذا الغرض يجب حساب الفترة الزمنية لتخلف الاشارة ، وهو ما نفعله عادة .

غير ان مثل هذه الطريقة لا تثبت أية حادثين تتفق تماما مع نسبية هذا المفهوم . وفي الواقع ، لكي نحسب زمن التخلف ، يجب علينا تقسيم المسافة بين موقعي الحادثين ، على سرعة انتقال الاشارة . ومن جهة أخرى فقد رأينا ، عند دراسة مسألة إرسال الخطابات من القطار السريع موسكو - فلاديفستوك ، أن نفس مفهوم المكان في الفراغ ، هو مفهوم نسبي الى حد كبير .

قبل وبعد

لنفترض أن قطارنا المزود بالمصباح المضاء ، والذي تدعوه بقطار آينشتاين ، قد تعطلت فيه الأجهزة الآلية لفتح الأبواب ، ولاحظ المسافرون في

الفصل الخامس

الساعات والمساطر متقلة الاطوار

لنستقل القطار من جديد

سكة حديدية طويلة جدا ، يسير عليها قطار آينشتاين ، وهناك محطتان تبعد إحداها عن الأخرى بمسافة ٨٦٤ ٠٠٠ ٠٠٠ كم . ان قطار آينشتاين يحتاج إلى ساعة واحدة لاجتياز هذه المسافة إذا كانت سرعته تعادل ٢٤٠ ٠٠٠ كم/ثانية . لنفرض وجود ساعة في كل محطة ، وقد استقل سائح عربة من عربات هذا القطار في المحطة الأولى ، وضبط ساعته اليدوية تبعا لساعة المحطة قبيل انطلاق القطار . فما أن وصل إلى المحطة الثانية حتى لاحظ مندهشا أن ساعته قد تأخرت .

وكانوا قد أكدوا للسائح ، في ورشة تصليح الساعات ، أن ساعته اليدوية مضبوطة تماما . فما هو الامر ؟

لتوضيح الامر ، نتصور أن المسافر يواجه شعاع ضوء ، من مصباحه اليدوي الموضوع على أرض العربة ، إلى السقف ، حيث توجد مرآة يقع عليها الشعاع ، فينعكس عائدا إلى المصباح . إن مسار الشعاع ، كما يراه راكب العربة ، مبين في الرسم الموجود في صفحة ٤٦ . أما بالنسبة للمراقب الواقف على الرصيف ، فانه يرى ذلك المسار بشكل آخر . ففي الوقت الذي يسير فيه شعاع الضوء من المصباح اليدوي إلى المرآة ، فان مكانها سيتغير من جراء حركة القطار . وفي الوقت الذي سينعكس فيه الشعاع ، فان موضع المصباح سيتغير بنفس المسافة .

القطار أن أبواب العربة الأولى قد فتحت قبل أبواب العربة الاخيرة ، بخمس عشرة ثانية . اما الواقفون على رصيف المحطة فسيرون العكس : ان أبواب العربة الاخيرة قد فتحت قبل ابواب العربة الأولى بـ $40 - 10 = 30$ ثانية . وهكذا ، فإن الأمر الذي حدث مسبقا بالنسبة لمختبر ما ، يمكن أن يحدث متأخرا بالنسبة لمختبر آخر .

وهنا تنشأ مباشرة ، فكرة أن نسبية مفهومى « قبل » و « بعد » يجب أن تكون محدودة . إذ أنه من الصعب أن يفترض المرء (من وجهة نظر أى مختبر كان) أن الطفل يمكن أن يولد قبل أمه .

لقد ظهرت على الشمس بقعة . وبعد ٨ دقائق لاحظها عالم فلكى يراقب الشمس بواسطة تلسكوب . وكل ما سيفعله العالم الفلكى بعد هذا ، سيكون أكثر تأخرا على الاطلاق من ظهور البقعة - أى أكثر تأخرا ، مهما كان عليه المختبر الذى يراقب بقعة الشمس ، والعالم الفلكى . وبالعكس ، فكل ما حدث للعالم الفلكى قبل ظهور البقعة بـ ٨ دقائق (بحيث تصل إشارة ضوئية عن هذا الحادث إلى الشمس قبل ظهور البقعة) ، قد حدث أكثر تبكيرا على الاطلاق من ظهور البقعة .

وإذا ما لبس العالم الفلكى نظارته في الفترة الزمنية الواقعة بين هذين الحادثين ، فان التناسب الزمنى بين ظهور البقعة ولبس النظارة من قبل العالم الفلكى ، لن يكون مطلقا .

ويمكننا مثلا أن نتحرك بالنسبة لكل من العالم الفلكى والبقعة ، بحيث نرى العالم الفلكى الذى يلبس نظارته قبل أو بعد أو فى آن واحد مع ظهور البقعة : ويعتمد ذلك على سرعة حركتنا واتجاهها .

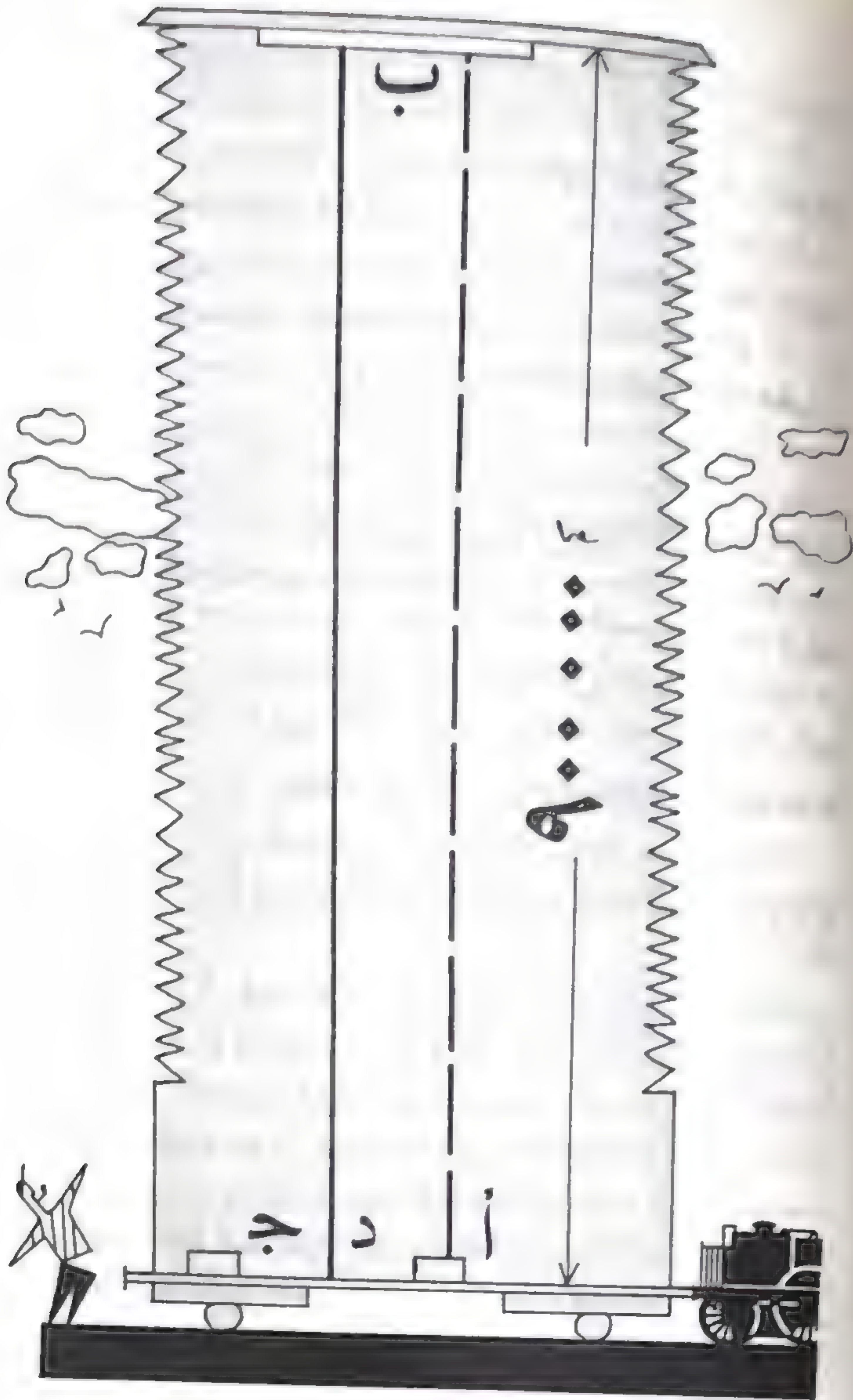
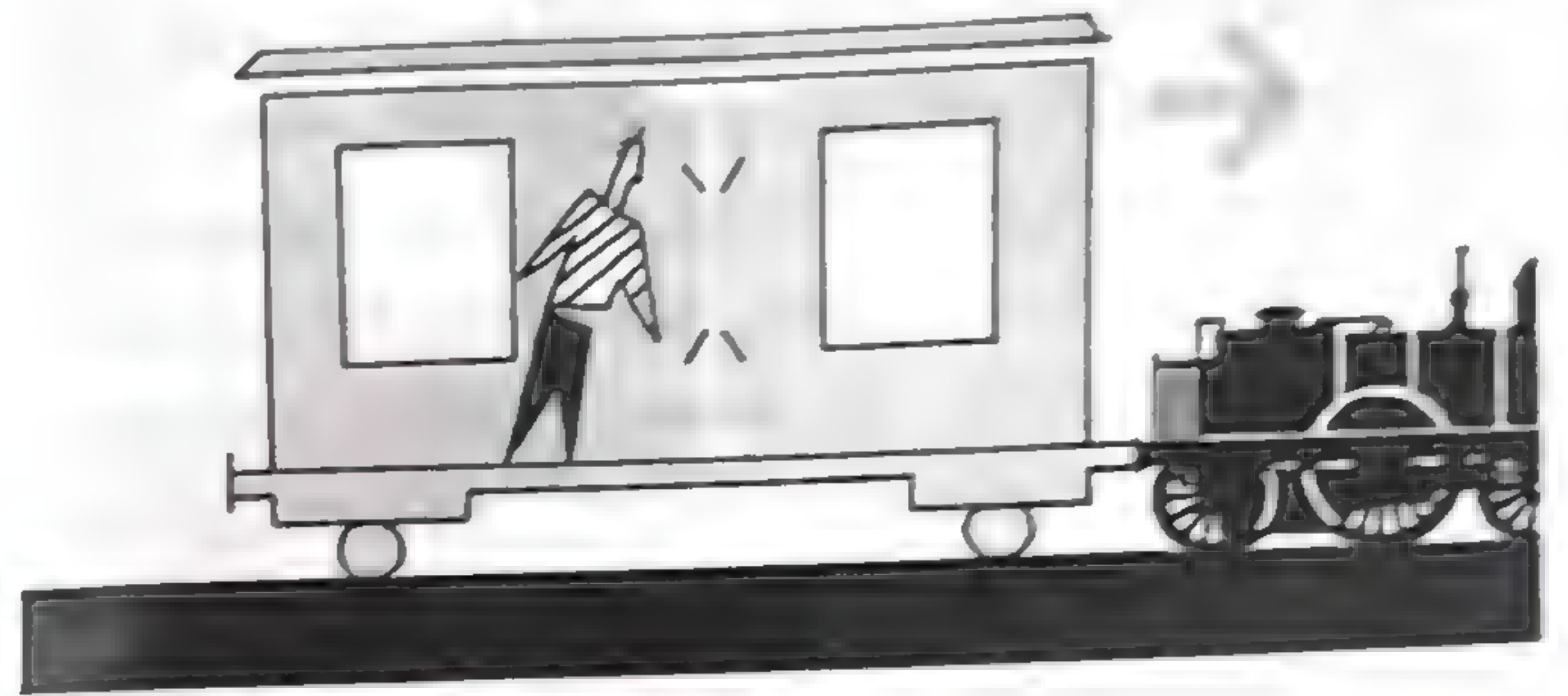
وهكذا فان مبدأ النسبية يبين ان التناسب الزمنى بين الحوادث يمكن أن يكون أحد انواع ثلاثة : أكثر تبكيرا على الاطلاق ، أكثر تأخرا على الاطلاق ، و « لا قبل ولا بعد » ، ومعنى أدق « قبل او بعد » ويتوقف ذلك على المختبر الذى تجرى منه مراقبة هذه الحوادث .

وهكذا فإننا نجد ان الضوء بالنسبة للواقفين على الرصيف ، قد قطع مسافة أكبر ، مما هي عليه بالنسبة للمراقبين الجالسين في القطار . هذا من جهة ، ومن جهة أخرى ، فإننا نعرف ان سرعة الضوء هي سرعة مطلقة ، متساوية بالنسبة للجالسين في القطار ، وللواقفين على الرصيف ، على حد سواء ، الأمر الذي يجعلنا نتوصل الى الاستنتاج التالي : في المحطة ، انقضى بين لحظة إرسال شعاع الضوء ولحظة عودته ، وقت أطول مما انقضى على ذلك في القطار !

وليس من الصعب حساب نسبة الزمنين .

فلنفرض أنه اتضح للمراقب الواقف على الرصيف ، أنه قد انقضت عشر ثوان ، منذ لحظة إرسال الشعاع ولحظة عودته . وخلال هذه الثواني العشر ، يكون الضوء قد اجتاز مسافة $10 \times 300 \dots = 3000 \dots$ كم . ومن هنا ينتج ان طول كل من الضلعين أب و ب ج ، في المثلث المتساوي الساقين ا ب ج يبلغ $1500 \dots$ كم ، وأن الضلع أ ج يساوي ، كما هو واضح ، الطريق الذي اجتازه القطار خلال عشر ثوان ، أي $10 \times 240 \dots = 2400 \dots$ كم . وليس من الصعب الآن ، تعيين ارتفاع عربة القطار ، وهو الارتفاع ب د في المثلث أب ج .

ولنتذكر أن مربع الوتر (أب) في المثلث القائم الزاوية يساوي مجموع مربعي الضلعين القائمين (أد ، ب د) . وهكذا يمكننا ان نحصل من المعادلة



$\overline{AB} = \overline{AD} + \overline{BD}$ ، على ارتفاع عربة القطار ، وهو
 $\overline{BD} = \overline{AB} - \overline{AD} = 11500 \dots - 11200 \dots = 300 \dots$ كم . وهو
 ياله من ارتفاع هائل ! غير أن هذا ليس بشيء مدهش ، إذا ما أخذنا في
 الاعتبار الأبعاد الخيالية لقطار آينشتاين .

إن الطريق الذي قطعه الشعاع من الأرض إلى سقف عربة القطار ، ذهبا
 وإيابا ، يعادل بالنسبة للمسافر ، ضعف الارتفاع ، أى
 $2 \times 900 \dots = 1800 \dots$ كم . ولقطع هذا الطريق يحتاج شعاع الضوء إلى
 $\frac{1800 \dots}{300 \dots} = 6$ ثوان .

الساعة تتأخر بصورة مستمرة

وهكذا فعندما انقضت ١٠ ثوان في المحطة ، انقضت في القطار ٦ ثوان
 فقط . أى إذا وصل القطار ، حسب توقيت المحطة ، بعد ساعة من
 انطلاقه ، فإنه حسب ساعة المسافر ، يصل بعد فترة زمنية قدرها
 $6 \times \frac{6}{10} = 3.6$ دقيقة من انطلاقه . وبعبارة أخرى ، فإن ساعة المسافر
 تأخرت عن ساعة المحطة بأربع وعشرين دقيقة خلال ساعة واحدة .
 وليس من الصعب إدراك أن تأخر الساعة سيزداد ، كلما ازدادت سرعة
 القطار .

وبالفعل ، فكلما اقتربت سرعة القطار من سرعة الضوء ، كلما اقترب
 ضلع المثلث القائم الزاوية ، اد ، الذى يمثل الطريق الذى اجتازه القطار ، من
 الوتر اب ، الذى يمثل الطريق الذى قطعه الضوء خلال نفس الوقت . ونتيجة
 لذلك ستقل النسبة بين طول ضلع المثلث القائم الزاوية ب د والوتر اب . ولكن
 هذه النسبة ، هى عبارة عن نسبة الفترة الزمنية في القطار ، إلى الفترة الزمنية في
 المحطة . فكلما عملنا على تقريب سرعة القطار من سرعة الضوء ، يمكننا خلال
 ساعة زمنية بتوقيت المحطة ، الحصول على فترة زمنية متناهية في الصغر ، داخل
 القطار . وهكذا فإذا كانت سرعة القطار تعادل ٩٩٩٩٩٩ من سرعة الضوء ،

فستنقضى في القطار ، دقيقة واحدة فقط خلال ساعة كاملة بتوقيت المحطة !
 إذا ، فإن كافة الساعات المتحركة تتأخر عن الساعات الساكنة . أفلا
 تناقض هذه النتيجة مبدأ نسبية الحركة الذى استندنا إليه ؟
 أفلا يعنى هذا ، أن الساعة التى تسبق كافة الساعات الأخرى ، تكون
 في حالة سكون مطلق ؟

كلا ، لأن مقارنة الساعة الموجودة في القطار مع ساعة المحطة ، قد تمت
 في ظروف غير متساوية على الإطلاق إذ لم تكن هناك ساعتان فقط ، بل ثلاث
 ساعات ! وكان الراكب يقارن ساعته بساعتين مختلفتين في محطتين مختلفتين .
 وبالعكس ، فلو كانت هناك ساعتان في عربتي القطار الأولى والأخيرة ، فإن
 المراقب في إحدى المحطتين إذ يقارن عقارب ساعة المحطة بعقارب الساعتين من
 خلال نوافذ القطار الذى يمر به ، سيكتشف أن ساعة المحطة تتأخر بصورة
 مستمرة .

وفي هذه الحالة وعند حركة القطار حركة منتظمة على خط مستقيم
 بالنسبة للمحطة ، يحق لنا أن نعتبر القطار ساكنا والمحطة متحركة . إذ يجب
 أن تتساوى جميع قوانين الطبيعة في المحطة وفي القطار .
 إن كل مراقب ثابت بالنسبة لساعته ، سيرى أن عقارب الساعات
 الأخرى المتحركة بالنسبة له ، تسرع في دوراتها ، كلما ازدادت سرعة حركة
 تلك الساعات .

وهذه الحالة مشابهة لتلك الحالة التى أصبح يؤكد فيها كل من المراقبين
 الواقفين عند عمودى تلغراف ، أن زاوية إبصار عموده ، أكبر من زاوية إبصار
 العمود الآخر .

آلة الزمن

فلنتصور الآن ، أن قطار آينشتاين لا يتحرك على خط مستقيم ، بل على
 سكة حديدية دائرية ، عائدا بعد مضي وقت معين إلى محطة الانطلاق . لقد
 اتضح لنا أن الراكب سيكتشف ، في هذه الحالة ، أن ساعته تتأخر ، وتزداد

ساعة. كلما زادت سرعة حركة القطار، قل عدد إزدياد سرعة قطار آينشتاين
السافر على الساعة المحسوسة الدائرية، يمكننا أن نستنتج أنه عندما يتحرك
بالنسبة للمسافر نحس عدة سنوات بالنسبة للمسافر العجوز. وعندما يجرى
مسافرا (حسب ساعتهم) بعد يوم إلى يوم عدد عدة الانطلاق على الساعة
المحسوسة الدائرية مبداهما بأن جميع أفكارهم ومعارفهم قد قضوا لحجم مدبر
عقول.

رحلات السفر بين محطتين: عندما كان المسافر يصطد ساعتهم زده
لساعات مختلفة، فهذا في حالة الطريق الدائري، يقوم المسافر بتقاربة عقارب
ساعتين فقط. وليس ثلاث ساعات: هذان الساعتان هما ساعة القطار
وساعة محطة الانطلاق.

أفلا يناقض هذا مبدأ النسبية؟ وهل يمكننا أن نعتبر المسافر ساكنا
وحدة الانطلاق، نحرك على خط دائري بنفس سرعة قطار آينشتاين؟ لا
كل الأمر كذلك، لوحدة أنه سيقضي يوم واحد، بالنسبة للموجودين في
محطة، وسنوات عديدة، بالنسبة للمسافرين. ولكن هذا التصور غير
صحيح، وذلك للأسباب التالية:

لقد سبق وأوضحنا، أنه يمكننا أن نعتبر الجسم ساكنا، فقط في تلك
الحالة، عندما لا تؤثر عليه أية قوة. وليست هناك في الواقع حالة «ساكن»
واحدة، بل هناك عند الانتهاء من هذه الحالات. كما أن أي جسمين
ساكنين، يمكنهما أن يتحركا بسرعة منظمة على خط مستقيم، بالنسبة
لبعضهما البعض. ويؤثر على الساعة الموجودة في قطار آينشتاين، الذي يسير
على سكة حديدية دائرية، قوة طاردة مركزية، ولذا لا يمكن بتاتا أن نعتبر هذه
الساعة ساكنة. وفي هذه الحالة، يكون الفرق بين ما تشير إليه ساعة المحطة
الساعة وساعة قطار آينشتاين، فرقا مطلقا.

وإذا افترق رجلان، يحملان ساعتين تشيرن إلى نفس الوقت، ثم تقابلا
من جديد بعد مضي فترة زمنية معينة، فإن ساعة الرجل الساكن أو المتحرك
بسرعة منظمة على خط مستقيم، تشير إلى مضي فترة زمنية أطول لو بمعنى

من إزدياد الساعة التي لم تؤثر عليها أية قوة إلى مضي فترة زمنية أطول
من السفر على الساعة المحدودة الدائرية، بسرعة أقرب من سرعة الضوء،
بمعنى إمكانية مبدئية لتحقيق «آلة الزمن» التي ذكرها ويلز في إحدى
قصصه، ولو إلى درجة محدودة: فعند خروجنا مرة ثانية إلى محطة الانطلاق،
نفسنا في مستقبل الزمن. وفي الواقع، فانه يمكننا أن نساغر على آلة
زمن هذه، إلى المستقبل، غير أننا لا نستطيع العودة إلى الماضي، وهذا هو
الأساسي بين آلة الزمن هذه وآلة الزمن الذي ذكرها ويلز.

ومن المثير حتى مجرد التفكير في أن تطور العلوم في المستقبل، سيسمكنا
من السفر إلى الماضي، وإلا فنستكون مضطرين في هذه الحالة إلى اعتبار بعض
الأصابع غير المعقولة، بمكة التحقيق مبدئيا. في الواقع، فإذا ما سافرنا إلى
الماضي، فمن الممكن أن نجد أنفسنا في وضع مستحيل، كوضع الإنسان
الذي يرى الثور في الوقت الذي لم يره والداه بعد.
أما السفر إلى المستقبل، فيحصل في طبائعه تناقضات ظاهرة فقط.

رحلة إلى النجوم

توجد في السماء نجوم، تبعد عنا، مثلا، بمسافة يمكن أن يجتازها شعاع
الضوء خلال ٤٠ سنة. وبما أننا نعلم أنه لا يمكن التحرك بسرعة تزيد على
سرعة الضوء، نتوصل إذن إلى النتيجة التالية: لا يمكننا أن نصل إلى مثل
هذه النجوم في فترة زمنية تقل عن أربعين سنة. غير أن هذه النتيجة خاطئة،
وذلك لأننا لم نأخذ بعين الاعتبار تغير الزمن الناشئ عن الحركة.

نفرض أننا نطلق إلى هذا النجم، على متن صاروخ آينشتاين، بسرعة
قدرها ٢٤٠.٠٠٠ كم/ثانية. وهذا يعني أننا سنصل إلى النجم، بعد مضي

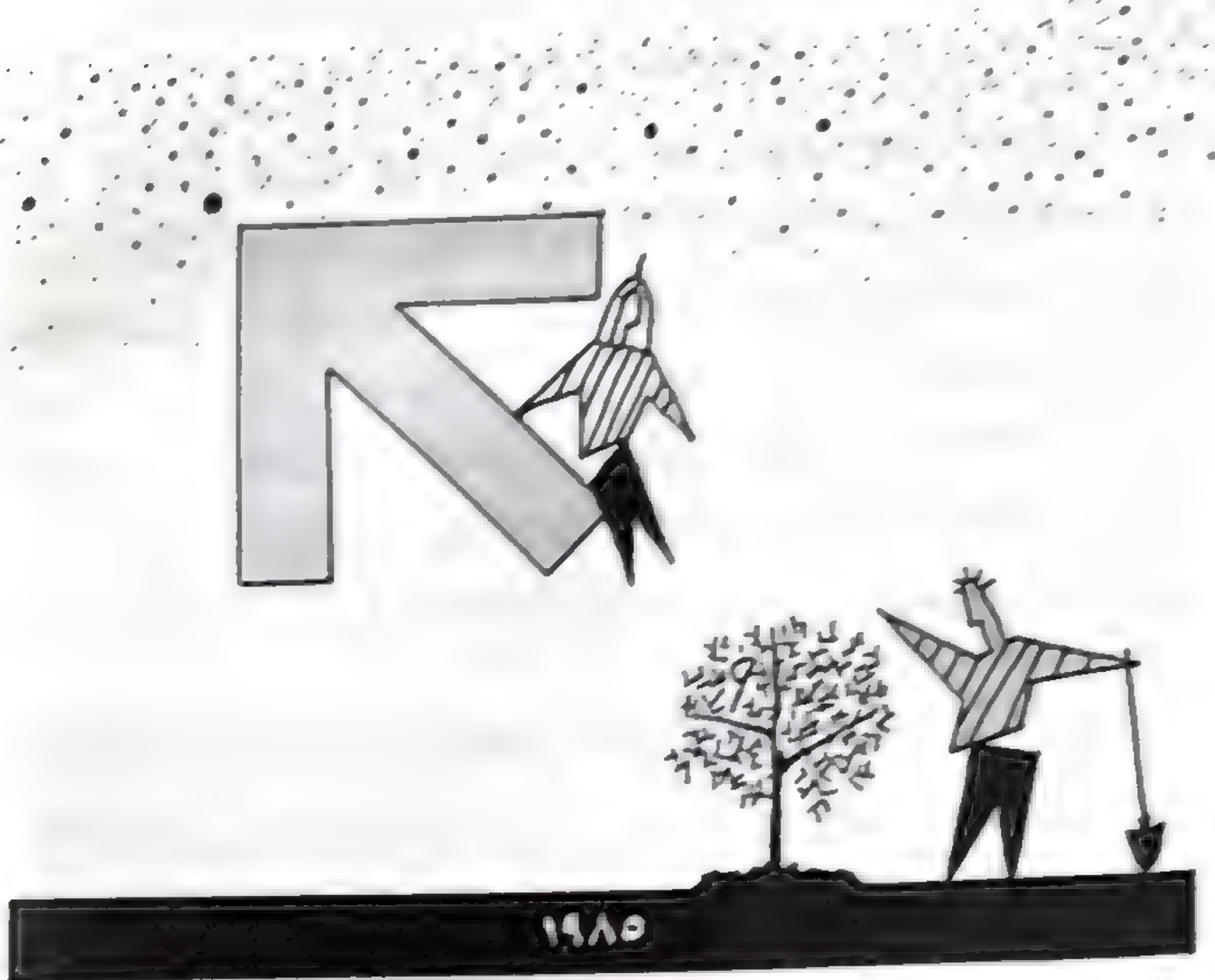
$$\frac{40 \times 300.000}{240.000} = 50 \text{ سنة، بالنسبة لسكان الأرض.}$$

أما بالنسبة لنا، أي للمسافرين في صاروخ آينشتاين، فإن هذه الفترة
الزمنية ستقل بنسبة ١٠ إلى ٦، إذا بلغت سرعة الصاروخ ٢٤٠.٠٠٠

كم/ثانية . أي أننا سنصل إلى النجم ليس بعد ٥٠ سنة بل بعد مضي
 $\frac{7}{10} \times 50 = 35$ سنة فقط .

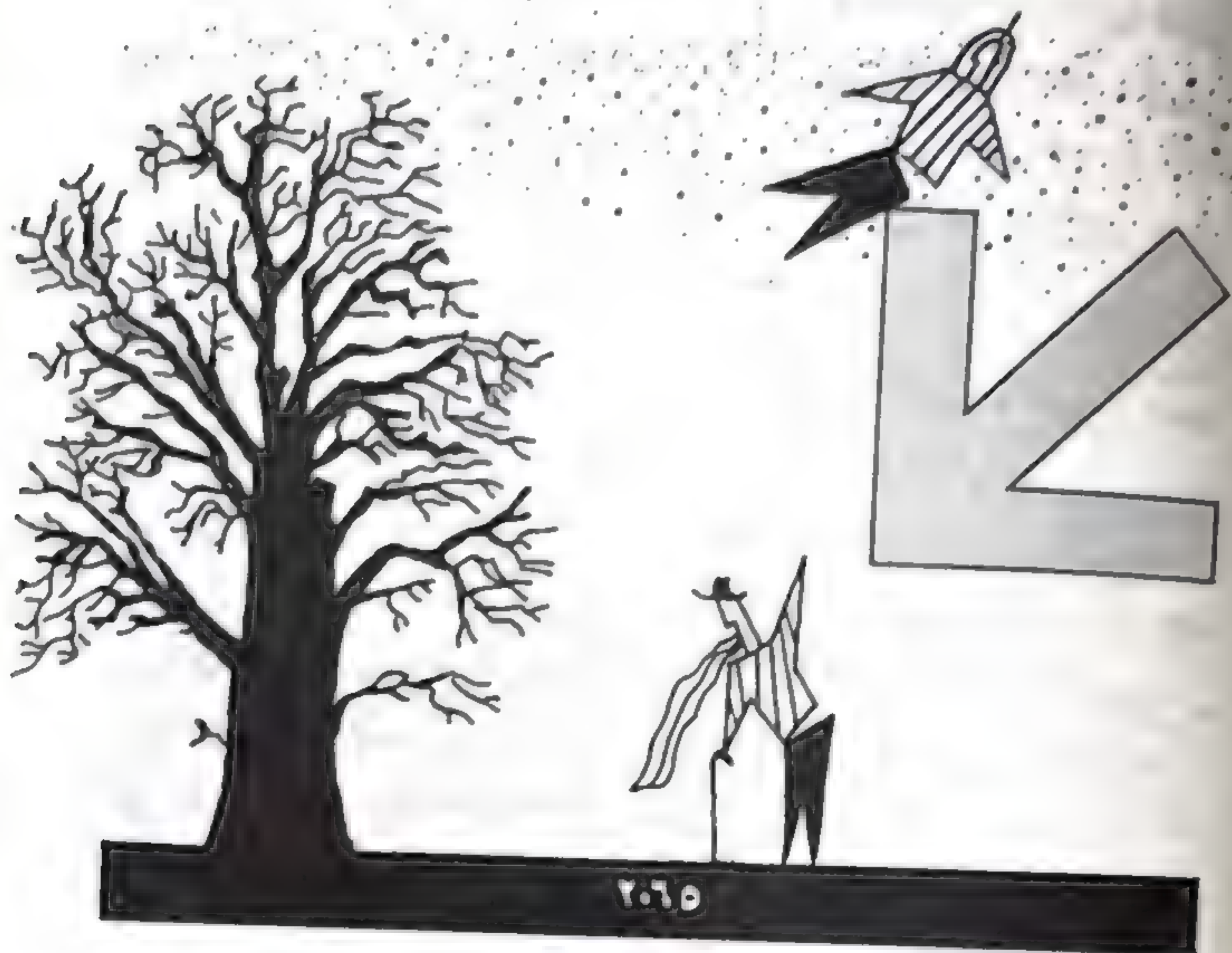
وكلما ازداد اقتراب سرعة صاروخ آينشتاين من سرعة الضوء كلما أمكننا
 أن نحصر - كما نشاء - الفترة الزمنية ، التي يحتاجها المسافرون ، للوصول
 مثل هذا النجم الموعول في البعد . ويمكننا نظرياً ، في حالة السفر بسرعة كبيرة
 إلى حد كاف ، أن نصل إلى هذا النجم ، وأن نعود منه إلى الأرض مرة
 أخرى ، خلال فترة زمنية لا تتعدى دقيقة واحدة ! ورغم هذا ، فستكون قد
 انقضت على الأرض ، فترة زمنية قدرها ٨٠ سنة .

قد يجيل للمرء ، أن هذا الأمر يتيح الامكانيات لإطالة عمر الإنسان . أما
 في الحقيقة ، فإن ذلك يحدث من وجهة نظر الناس الآخرين فقط ، وذلك لأن
 الإنسان يتقدم العمر وفقاً « لوقته الذاتي » . غير أن هذه الاحتمالات ، تبدو
 للأسف ضئيلة جداً ، إذا ما أمعنا فيها النظر .



ولابد من واقع أن جسم الإنسان لا يتحمل الإقامة لمدة طويلة ، تحت
 تأثير عجلة تزايد زيادة كبيرة على عجلة الجاذبية الأرضية . ولذا فلكي نصل
 إلى سرعة قريبة من سرعة الضوء ، فإننا نحتاج إلى فترة زمنية طويلة جداً . وتشير
 الحسابات الدقيقة إلى أننا نستطيع أن نوفر من الوقت شهراً ونصف فقط ،
 وذلك عند السفر لمدة نصف سنة بعجلة تساوي عجلة الجاذبية الأرضية .
 وإذا ما أطلنا مدة السفر ، فسيزداد ربح الوقت بسرعة كبيرة . مثلاً ، إذا
 سافرنا على متن صاروخ لمدة سنة ، يكون باستطاعتنا أن نربح - إضافياً -
 سنة ونصف من الوقت . وإذا استغرقت رحلتنا سنتين ، فإننا سنربح ٢٨ سنة
 كذلك . أما خلال ثلاث سنوات من إقامتنا في الصاروخ ، فسيمر على
 الأرض أكثر من ٣٦٠ سنة !

ربما وجدنا في هذه الأرقام العزاء الكافي .
 أما فيما يتعلق بالطاقة المستهلكة ، فإن الأمر أسوأ . وذلك لأن الصاروخ
 المتحرك الذي يزن وزناً متواضعاً - طناً واحداً - يستهلك عند السفر بسرعة



... ٢٦٠ كم / ثانية (هذه السرعة ضرورية لـ « مضاعفة » الوقت ، أى لكي تمر مستان على الأرض ، مقابل كل سنة تمر على السفر في الصاروخ) . طاقة قسرها ٢٥٠ كيلواط / ساعة . إن هذه الكمية من الطاقة تعادل الطاقة المنتجة على الكرة الأرضية بأجمعها خلال عدة سنوات . غير أننا قد حسبنا فقط الطاقة التي يستهلكها الصاروخ أثناء السفر . ولم نأخذ في الاعتبار أنه يجب علينا مقدما أن نصل بسرعة صاروخنا إلى ... ٢٦٠ كم / ثانية ! كما يجب علينا ، عند انتهاء السفر ، أن نعمل الصاروخ ، كي يستطيع الهبوط على الأرض بسلام . فما مقدار الطاقة اللازمة لذلك ؟

وحتى إذا كان لدينا من الوقود ما يكفي لتزويدنا بسيل يتدفق من الحرك الصفات بأكثر سرعة ممكنة - أى بسرعة الضوء ، فإن هذه الطاقة يجب أن تزيد بمائتي مرة على الكمية التي سبق حسابها . أى كان يجب علينا أن نستهلك من الطاقة ما تنتجه البشرية خلال عدة عشرات من السنين . أما السرعة الحقيقية للسيل المتدفق من محركات الصاروخ فإنها تقل عن سرعة الضوء بعشرات الآلاف من المرات ، الأمر الذي يجعل استهلاك الطاقة اللازمة لسفرتنا الخيالية هائلا إلى حد لا يصدق .

الأشياء تختصر

لقد اقتنعنا ، لتونا ، بأن الوقت قد فقد مفهومه المطلق ، فللوقت مفهوم نسبي يتطلب إشارة دقيقة إلى المختبرات التي يجري فيها القياس . ونعود الآن مرة أخرى ، إلى دراسة الفراغ . لقد اتضح لنا قبل وصف تجربة مايبكلسون ، أن الفراغ مفهوم نسبي . ولكن رغم نسيية الفراغ ، كنا نعتبر أن لمقاييس الأجسام طابعا مطلقا . أى أننا كنا نعتبر أن هذه المقاييس من خصائص هذه الأجسام ، ولذا لا تتوقف على المختبر الذي نجري فيه المراقبة . غير أن نظرية النسبية تحملنا على التخلي عن هذا الاعتقاد أيضا . إن هذا

يختلف مفهوم الزمن المطلق ، هو مجرد رأى خاطئ ، ناشئ بسبب تعاملنا مع سرعة صغيرة جدا بالمقارنة مع سرعة الضوء .

ولنتصور أن قطار آينشتاين يمر برصيف محطة طوله ... ٢٤٠٠ كم . بل سيوافق على ذلك ، المسافرون في قطار آينشتاين ؟ سيقطع القطار مسافة من أحد طرفي الرصيف إلى الطرف الآخر ، حسبنا تشير إليه ساعة محطة ، في مدى $\frac{24000}{240000} = 10$ ثوان . غير أن لدى المسافرين ساعاتهم ،

في سيجنار القطار - بموجبها - المسافة الواقعة بين طرفي الرصيف في فترة زمنية أقل . إنما نعلم أن هذا الوقت يعادل ٦ ثوان فقط . ونتيجة لذلك ، فإن المسافرين كل الحق في استنتاج أن طول الرصيف ليس ... ٢٤٠٠ كم ، بل ... $2400 \times 6 = 14400$ كم .

إذن ، فالتا نرى أن طول الرصيف ، من وجهة نظر المراقب الساكن بالنسبة للرصيف ، أكبر مما هو عليه من وجهة نظر المراقب الذي يتحرك برصيف بالنسبة له . إن كل جسم متحرك يختصر في اتجاه حركته . غير أن هذا الاختصار لا يدل أبدا على مطلقة الحركة . وبكفي أن نكون في موضع المراقب الثابت بالنسبة للجسم ، حتى يزداد الجسم طولاً من جديد . ويحدث نفس الشيء مع المسافرين الذين سيجدون أن الرصيف قد اختصر ، أما الواقفون على الرصيف ، فيبدو لهم أن قطار آينشتاين قد اختصر (بنسبة ٦ : ١٠) .

وهذا ليس بخداع بصر ، بل أن كافة الأجهزة التي يمكن استخدامها لقياس طول الأجسام ، ستبين نفس الشيء . وبعد أن علمنا أن الأشياء تختصر ، يجب أن نجري الآن تعديلا على مناقشتنا السابقة على الصفحة ٣٦ التي تتعلق بوقت فتح الأبواب في قطار آينشتاين . فعندما حسبنا لحظة فتح الأبواب ، من وجهة نظر المراقبين الواقفين على رصيف المحطة ، اعتدنا أن طول القطار المتحرك لن يختلف عن طول

القطار الثابت . بيد أن طول القطار قد اختصر بالنسبة للواقفين على الرصيف . ووفقا لذلك ، فإن الفترة الزمنية الحقيقية بين فتح الأبواب مقاسة بساعة المحطة سوف لا تعادل ٤٠ ثانية ، بل $40 \times \frac{7}{10} = 28$ ثانية فقط .
وبالنسبة للاستنتاجات التي توصلنا إليها من قبل ، لا تكون لهذا التعديل أية أهمية .

السرع متقلبة الاطوار

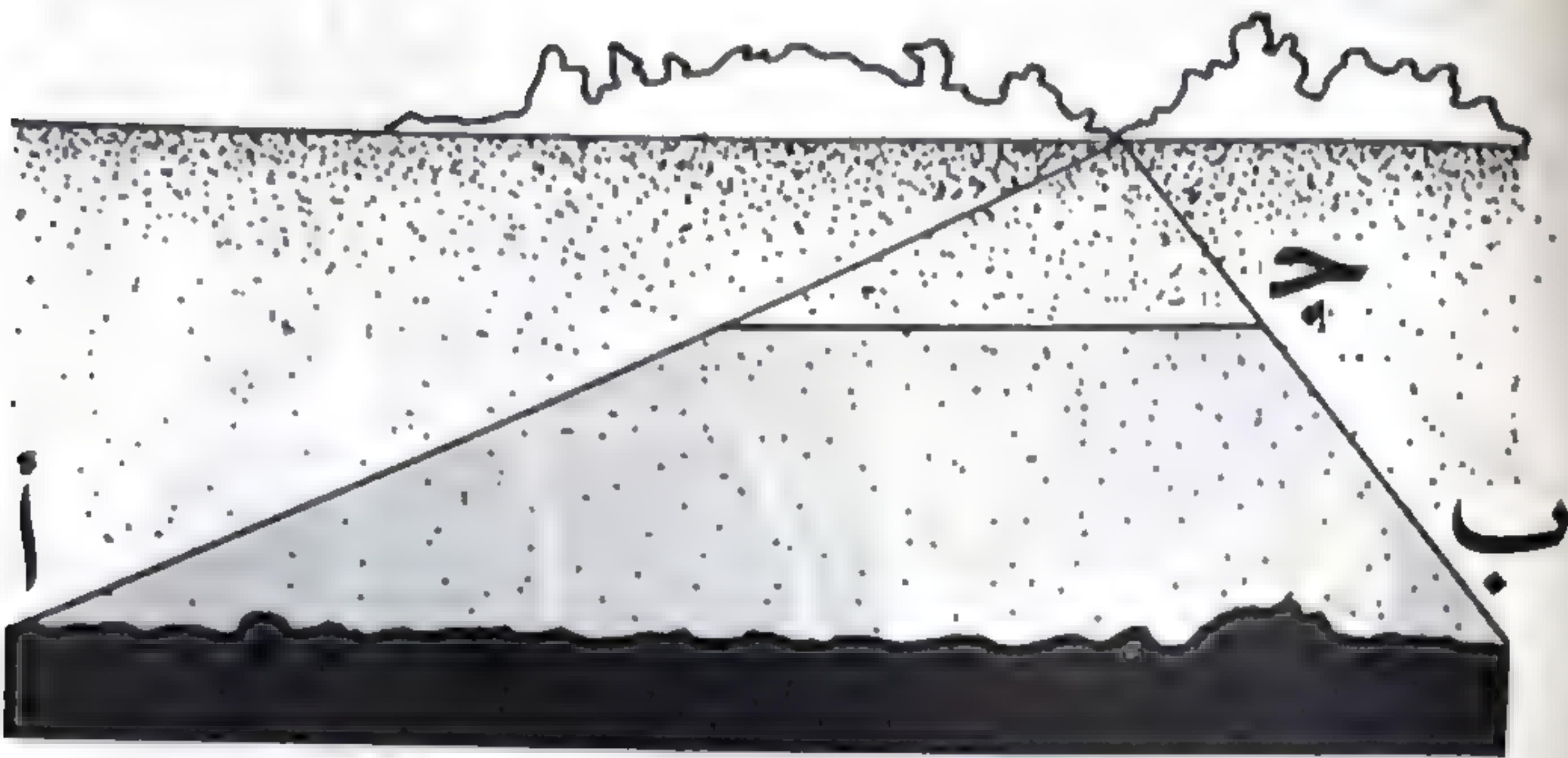
بأية سرعة يتحرك المسافر ، بالنسبة للسكة الحديدية ، إذا مشى نحو مقدمة القطار بسرعة ٥ كم/ساعة وكان القطار منطلقا بسرعة ٥٠ كم/ساعة ؟ من الواضح أن سرعة الانسان بالنسبة للسكة الحديدية تساوى $50 = 5 + 50$ كم/ساعة . إن هذا النقاش مبنى على قانون جمع السرع وليس لدينا أى شك فى صحة هذا القانون . فى الواقع ، سيقطع القطار خلال ساعة واحدة ٥٠ كم ، وسيقطع المسافر فى القطار خمسة كيلومترات أخرى . فالجـمـوع ٥٥ كم وهى المسافة التى ذكرناها سابقا .

من المفهوم تماما أن وجود السرعة القصوى فى العالم يمنع الاستخدام الشامل لقانون جمع السرع ، فيما يتعلق بالسرع الكبيرة والصغيرة . فإذا كان المسافر يتحرك فى قطار أينشتاين بسرعة ١٠٠ ... كم/ثانية مثلا ، فإن سرعة المسافر بالنسبة للسكة الحديدية لا يمكن أن تساوى $240 \dots + 100 \dots = 340 \dots$ كم/ثانية ، لأن هذه السرعة أكبر من سرعة الضوء القصوى ، ولذا فإن وجودها فى الطبيعة هو أمر مستحيل .

يتضح إذن أن قانون جمع السرع الذى نستخدمه فى حياتنا الاعتيادية ، غير دقيق . إنه عادل وصحيح فقط بالنسبة للسرع التى تقل كثيرا عن سرعة الضوء .

إن القارئ المعتاد على كافة التناقضات الظاهرية الموجودة فى نظرية النسبية

سيدرك بسهولة أسباب عدم مقبولة النقاش الذى قد يبدو واضحا ، والذى لتونا استنتجنا بموجبه قانون جمع السرع . ولهذا الغرض فقد جمعنا المسافة التى قطعها القطار خلال ساعة واحدة بالنسبة للسكة الحديدية ، مع المسافة التى قطعها المسافر فى القطار . غير أن نظرية النسبية تبين لنا أن هاتين المسافتين لا يمكن جمعهما . إن هذا التصرف سيكون تصرفا غير واقعى ، تماما كما لو وجدنا مساحة الجقل المبين فى الرسم المنشور على هذه الصفحة ، بضرب طول المستقيم أب فى طول المستقيم بـ ح متناسين أن طول الأخير لا يتفق والحقيقة نظرا لبعـد مـدى الرؤية . وبالإضافة الى ذلك ، فلتحديد سرعة المسافر بالنسبة للمحطة ، يجب علينا تحديد الطريق الذى قطعه خلال ساعة واحدة حسب توقيت المحطة . أما فيما يتعلق بتحديد سرعة المسافر فى القطار ، فيجب علينا

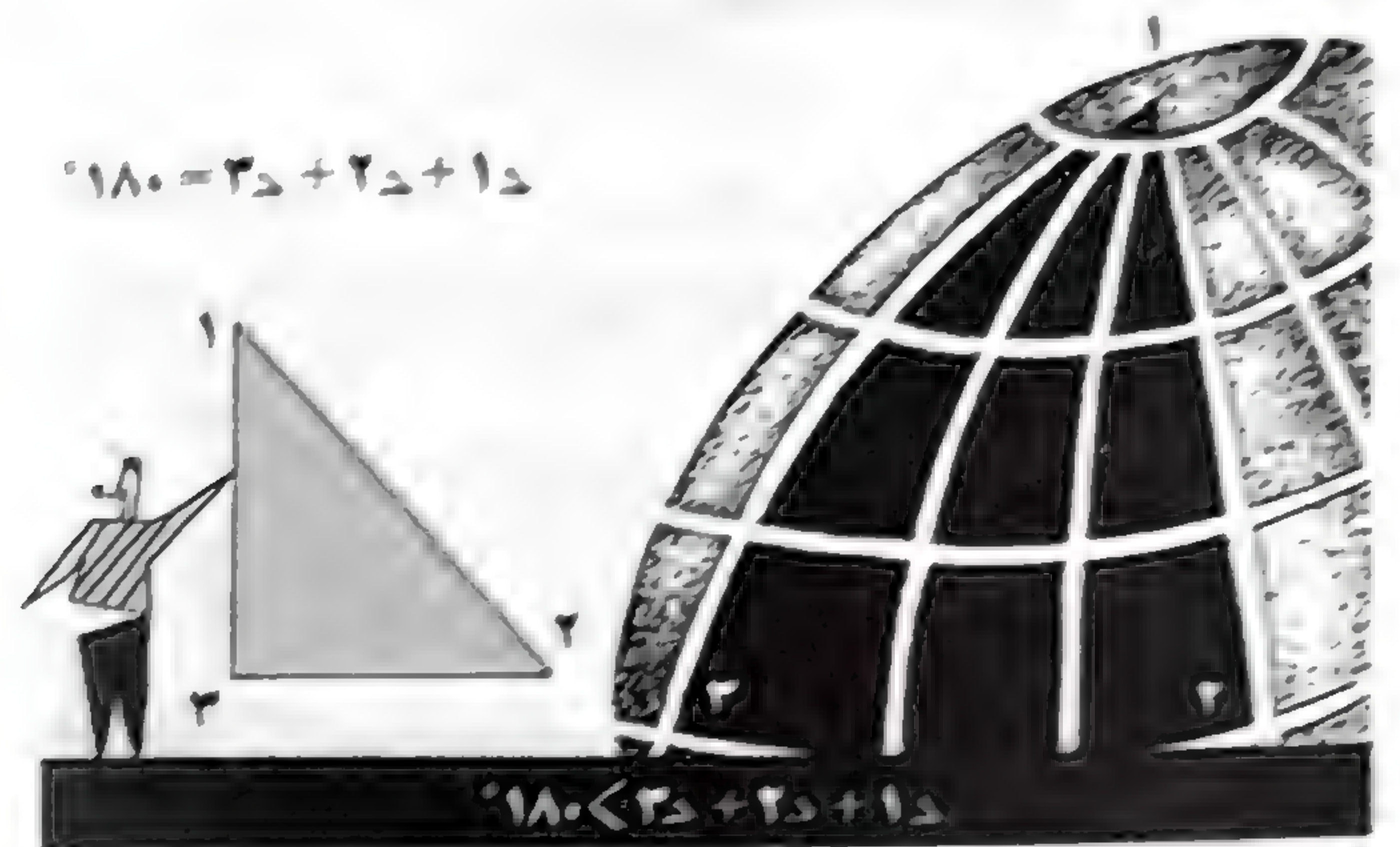


استخدام توقيت القطر . وهذا الأمران مختلفان كل الاختلاف كما اتضح لـ سابقا .

ومن كل ذلك يتبع أن السرعتين اللتين يمكن مقارنة إحداها على الآخر بسرعة الضوء لا يمكن جمعهما بالطريقة التي اعتدنا على استخدامها . ويمكن بالتجربة التأكد من تناقض الظاهر لجمع السرع بهذه الطريقة ، مثلا بمراقبة انتشار الضوء في الماء المتحرك (كما ذكرنا سابقا) . أما كون سرعة انتشار الضوء في الماء المتحرك لا تساوي مجموع سرعة الضوء في الماء الثابت وسرعة حركة الماء ، بل هي أقل من هذا المجموع ، فهو نتيجة مباشرة لنظرية النسبية .

وبعض الإشارة إلى حالة فريدة في نوعها تظهر عند جمع السرعتين ، إذ كانت إحداها تساوي ... ٣٠٠ كم / ثانية بالضغط . فهذه السرعة ، كما نعرف ، تتلخص بخاصية البقاء بدون تغيير مهما تحركت المختبرات التي تتم فيها المراقبة ، أو بالأحرى مهما كانت السرعة التي مضافها إلى سرعة ... كم / ثانية ، فسنحصل بالنتيجة على نفس السرعة - ٣٠٠ كم / ثانية .

إن عدم إمكانية استخدام القاعدة الاعتيادية لجمع السرعتين يمكن أن يقارن بوضع آخر بسيط هو الوضع التالي :



الفصل السادس

الشغل يغير الكتلة

الكتلة

لنفرض أننا نريد أن نجعل جسماً ساكناً يتحرك بسرعة معينة . لذلك يجب أن نؤثر على هذا الجسم بقوة ما . ففى هذه الحالة إذا لم تؤثر على هذا الجسم أية قوة خارجية تعيق حركته كقوة الاحتكاك مثلاً ، فإن الجسم سيتحرك بسرعة تتزايد تدريجياً . وبعد مضي فترة معينة من الزمن يصبح بوسعنا زيادة سرعة الجسم الى المقدار الذى نريده . وفى هذه الحالة نجد أنه لاكتساب الأجسام المختلفة سرعة معينة تحت تأثير القوة المعطاة نحتاج إلى فترات زمنية مختلفة .

ولكى يمكننا إهمال الاحتكاك فلنتصور أنه لدينا كرتان متساويتان فى الحجم وموجودتان فى الفضاء الكونى ، إحداها من الرصاص والأخرى من الخشب . وسنقوم بشد كل من هاتين الكرتين بقوة متساوية ، الى أن تكتسبا سرعة تعادل مثلاً ١٠ كم / ساعة .

ومن البديهي أن الحصول على هذه النتيجة ، سيتطلب التأثير بالقوة المعطاة لفترة زمنية أطول بالنسبة للكرة الرصاصية مما يستغرقه تأثير نفس القوة على الكرة الخشبية . ويقال فى هذه الحالة إن للكرة الرصاصية كتلة أكبر من كتلة الكرة الخشبية . وما دامت السرعة تزداد عند تأثير قوة ثابتة على الجسم بازدياد الفترة الزمنية لتأثير القوة ، فإننا نعتبر أن مقياس الكتلة هو عبارة عن النسبة بين الفترة الزمنية اللازمة للوصول الى السرعة المعطاة ، ابتداءً من حالة السكون ، وبين السرعة المذكورة بالذات . إن الكتلة تتناسب مع هذه النسبة ،

مع ملاحظة أن معامل التناسب يتوقف على مقدار القوة التى تكتسب الجسم حركته .

الكتلة تتزايد

تعتبر الكتلة من أهم خواص أى جسم . وقد اعتدنا على ان كتلة الأجسام لا تتغير على الإطلاق ، وأنها لا تعتمد على السرعة . وهذا ناتج من التأكيد الذى ذكرناه فى البداية والقائل بان السرعة تتناسب فى حالة تأثير قوة ثابتة على الجسم ، تناسباً طردياً مع الفترة الزمنية لتأثير هذه القوة . إن هذا التأكيد من جانبنا مبنى على القاعدة المعتادة لجمع السرع . غير أننا قد أثبتنا لتونا أنه لا يمكن استخدام هذه القاعدة فى جميع الحالات . فماذا نفعل للتوصل الى السرعة المطلوبة عند انتهاء الثانية الثانية من بدء تأثير القوة ؟ إننا لجمع السرعة التى اكتسبها الجسم عند انتهاء الثانية الاولى مع السرعة التى اكتسبها خلال الثانية الثانية ونقوم بذلك طبقاً للقاعدة المعتادة لجمع السرع .

ويمكننا القيام بذلك ما دامت السرعة المكتسبة لم تبلغ بعد حد مقارنتها بسرعة الضوء . أما إذا بلغت هذا الحد فلا يمكن استخدام هذه القاعدة القديمة . وإذا ما جمعنا سرعتين آخذين فى الاعتبار نظرية النسبية ، فلا بد لنا من التوصل الى نتيجة تكون دائماً أقل من النتيجة التى نحصل عليها إذا ما استخدمنا قاعدة الجمع القديمة ، التى لا تصلح فى هذه الحالة . ومعنى هذا أنه فى حالة بلوغ السرعة حداً كبيراً فإنها لن تزداد فى تناسب طردي مع ازدياد الفترة الزمنية لتأثير القوة على الجسم ، بل بصورة أبطأ . وهذا أمر مفهوم لأن هناك سرعة قصوى .

وكلما اقتربت سرعة الجسم من سرعة الضوء ، فإنها تزداد أبطأ فأبطأ ، عند تأثير القوة الثابتة عليها ، ذلك لأنه لا يمكن تعدى السرعة القصوى . وما دمنا نستطيع التأكيد بان سرعة الجسم تزداد بازدياد الفترة الزمنية

تأثير القوة على الجسم يكون في وسعنا القول بان الكتلة لا تعتمد على مقدار سرعة الجسم . ولكن عندما تبلغ سرعة الجسم حدا يمكن مقارنته بسرعة الضوء ، فان التناسب بين الفترة الزمنية وسرعة الجسم يتلاشى وتبدأ الكتلة في هذه الحالة بالاعتماد على السرعة . ولما كان زمن العجلة يزداد بلا حدود في حين لا يمكن للسرعة أن تتعدى حدا معيناً ، فالتا نرى أن الكتلة تزداد بازدياد السرعة حتى تبلغ مقدارا لانهايا عندما تساوى سرعة الجسم سرعة الضوء . وتبين الحسابات أن كتلة الجسم تزداد أثناء الحركة بنفس القدر الذي يتناقص به طوله أثناء تلك الحركة . وهكذا فان كتلة قطار آينشتاين الذي يتحرك بسرعة ٢٤٠.٠٠٠ كم / ثانية ، أكبر من كتلة القطار الساكن بـ ١٠ مرة .

ومن البديهي أنه في حالة السرع المعتادة الصغيرة بالنسبة لسرعة الضوء ، بوسعنا أن نهمل تغير الكتلة تماما كما يمكننا إهمال ارتباط أبعاد الجسم بسرعه أو إهمال ارتباط الفترة الزمنية بين حادثين بالسرعة التي يتحرك بها مراقبو هذين الحادثين .

إنما نستطيع أن نتأكد من صحة اعتماد الكتلة على السرعة ، وهو الاعتماد الناتج من نظرية النسبية ، من التجربة المباشرة ، عندما نراقب حركة الالكترونات السريعة .

ففي الظروف التجريبية الحديثة ، لا يعتبر الالكترون المتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، شيئا نادرا ، بل هو ظاهرة اعتيادية . وهناك أجهزة خاصة لزيادة سرعة الالكترونات تزيد فيها الالكترونات بسرعة تختلف عن سرعة الضوء بأقل من ٣٠ كم / ثانية .

وهكذا فان الفيزياء الحديثة قادرة على مقارنة كتلة الالكترونات المتحركة بسرعة هائلة ، بكتلة الالكترونات الساكنة . ولقد أكدت نتائج التجارب اعتماد الكتلة على السرعة ، وهو الأمر الذي يتفق ومبدأ نظرية النسبية .

ما نحن الجرام من الضوء ؟

إن ازدياد كتلة الجسم مرتبط كل الارتباط بالشغل المبذول عليه : ويتناسب هذا الازدياد تناسبا طرديا مع مقدار الشغل اللازم لاكتساب الجسم حركته . وليست هناك حاجة ، في هذه الحالة ، لبذل شغل لجرد إكتساب الجسم حركته . فان كل شغل يبذل على الجسم وكل ازدياد في طاقته يزيد من كتلته . ولهذا فان الجسم الساخن له كتلة أكبر من كتلة الجسم البارد ، كما أن لزيتك المضغوط كتلة أكبر من كتلة الزيتك الحر . وفي الحقيقة فان معامل التناسب بين تغير الكتلة وتغير الطاقة صغير جدا : لكي تزيد كتلة الجسم جراما واحدا يجب أن تزوده بطاقة تبلغ ٢٥ مليون كيلواط ساعة . ولذلك فان تغير كتلة الجسم في الظروف الاعتيادية ضئيل جدا ولا يمكن ملاحظته حتى بالأجهزة الدقيقة . مثلا تسخين طن من الماء ، من درجة الصفر حتى درجة غليان ، سيؤدي إلى زيادة كتلة الماء بما يقارب خمسة أجزاء من المليون من الجرام .

وإذا ما أحرقنا طنا من الفحم في فرن مغلق ، فستكون لنواتج الاحتراق ، بعد تبريدها ، كتلة تقل عن كتلة الفحم والأكسجين اللذين تكونت منهما بواحد من ثلاثة آلاف من الجرام . أما نقص الكتلة هذا فيرجع إلى الحرارة التي فقدت أثناء احتراق الفحم .

غير أن الفيزياء الحديثة مطلعة على ظواهر يلعب فيها تغير كتلة الجسم دورا كبيرا . منها مثلا الظاهرة التي تحدث عند اصطدام النويات الذرية ، أي الظاهرة التي تتكون خلالها نويات جديدة من النويات الموجودة . مثلا عن اصطدام نواة ذرة الليثيوم بنواة ذرة الهيدروجين تتكون ذرتان من الهيليوم ، وعند ذلك تتغير الكتلة بمقدار $\frac{1}{4}$ من قيمتها الأولية .

وقد سبق وذكرنا أنه لزيادة كتلة الجسم جراما واحدا ، ينبغي أن تزوده بطاقة تعادل ٢٥ مليون كيلواط ساعة . ويتج من ذلك أنه عند تحويل جرام

واحد من محيط التريوم والميلروجين الى هيليوم ، يتحرر قدر من الطاقة تقدر
بـ ٤٠٠ مرة ، أي : $\frac{25000000}{400} = 62500$ كيلواط ساعة !

ونجيب الآن على السؤال التالي : ما هي أغل المواد الموجودة في الطبيعة
(بموجب الورق) ؟

لقد اتفق على اعتبار التريوم أغل المواد ، إذ أن الجرام الواحد منه يكسر
حوال ربع مليون رطل .
ولكن ، لتحديد الآن ثمن ... الضوء .

في المصاييح الكهربائية يتحول $\frac{1}{3}$ فقط من الطاقة الى ضوء مرق .
ولهذا فإن جرام الضوء يعادل كمية من الشغل تزيد بـ ٢٠ مرة على ٢٥ مليون
كيلواط ساعة ، أي ٥٠٠ مليون كيلواط ساعة . فإذا اعتبرنا ان ثمن
الكيلواط ساعة الواحد هو كويك * واحد ، سنجد ان ثمن الجرام من الضوء
هو ٥ ملايين رطل . وهكذا فإن الجرام الواحد من الضوء أغل من جرام
التريوم بعشرين مرة .

* الكويك هو أصغر وحدة تقنية في العملة السوفيتية ويساوي $\frac{1}{100}$ من الرطل .

وهكذا ، فإن التجارب الدقيقة المقنعة تحملنا على الاعتراف بصحة
نظرية النسبية التي تكشف عن الخواص المدهشة للعالم المحيط بنا ، تلك
الخواص التي لا يمكن ملاحظتها عند دراسة الأشياء دراسة أولية ، أو
بأخرى دراسة سطحية .

لقد اطلعنا على التغيرات الجوهرية العميقة التي تدخلها نظرية النسبية
على المفاهيم والتصورات الأساسية التي تكونت لدى البشرية خلال قرون ،
نتيجة لتجربة الحياة اليومية .

أولا يعني هذا انهيار التصورات الاعتيادية تماما ؟
أولا يعني هذا ان الفيزياء التي وجدت قبل ظهور مبدأ النسبية ، تشطب
وتبذ كحذاء قديم أكل الدهر عليه وشرب ؟

لو كان الأمر كذلك لكان من العبث القيام بالأبحاث العلمية ،
لأنه لا يمكن للمرء أن يكون متأكدا تماما من أنه لن يظهر في المستقبل علم
جديد ينز العلم القديم على الاطلاق .

ولتصور أن مسافرا لا في قطار آينشتاين بل في قطار ركاب عادي
أو حتى في قطار سريع ، أراد أن يجري تعديلا في توقيت ساعته ، آخذا
بعين الاعتبار نظرية النسبية ، خشية أن تتأخر ساعته عن ساعة المحطة .
فلو حاول هذا المسافر القيام بذلك فعلا ، لضحكنا منه . إن هذا التعديل في
الواقع ليس إلا جزءا ضئيلا نافها من الثانية ، فحتى مجرد اهتزاز القطار يؤثر
أكثر من ذلك بكثير على ادق الساعات .

ان المهندس الكيميائي الذي يسأل نفسه هل تتغير كتلة الماء
عند التسخين أم لا ، هو مهندس في تفكيره خلل . أما فيما يتعلق

بالفيزيائي الذي يراقب اصطدام نويات الذرة ، ولا يأخذ في الاعتبار تغير الكتلة عند التحولات النووية فيجب أن يطرد من المختبر لجهله .
إن المصممين يستخدمون دائما قوانين الفيزياء القديمة عند تصميم محركاتهم ، لأن التعديلات الناشئة عن نظرية النسبية ، تؤثر على مكانهم أقل بكثير من تأثير الجرثوم الذي يحط على حداقة المكنة . أما الفيزيائي الذي يراقب الإلكترونات السريعة ، فمن واجبه أن يأخذ في الاعتبار تغير كتلة الإلكترونات الناشئ عن تغير السرعة .

ومعكنا فإن نظرية النسبية لا تفقد بل تعمق المفاهيم والتصورات التي كونتها العلوم القديمة ، وتعين الحدود التي يمكن في نطاقها استخدام هذه المفاهيم القديمة حتى لا تؤدي الى نتائج غير صحيحة . فإن جميع قوانين الطبيعة التي اكتشفها الفيزيائيون قبل ظهور نظرية النسبية ، لا تلغى ، بل تعين حدود استخدامها فقط .

إن العلاقة بين الفيزياء التي تأخذ في الاعتبار نظرية النسبية ، والتي تسمى بالفيزياء النسبية ، وبين الفيزياء القديمة التي يطلقون عليها اسم الفيزياء الكلاسيكية (التقليدية) ، تشبه العلاقة بين علم الجيوديسيا الذي يأخذ في الاعتبار كروية الأرض وبين علم المساحة التطبيقية الذي يهمل كروية الأرض . إن علم الجيوديسيا يجب أن يعتمد على نسبة مفهوم الخط الرأسى ، كما يجب أن تأخذ الفيزياء النسبية في الاعتبار نسبة مقاييس الجسم وفترات الزمن بين الحادتين ، مناقضة بذلك الفيزياء الكلاسيكية التي لا تأخذ في الاعتبار هذه النسبة .

وكما أن علم الجيوديسيا هو تطور لعلم المساحة التطبيقية ، فإن الفيزياء النسبية هي تطور وتوسع للفيزياء الكلاسيكية .

ويمكننا الانتقال من معادلات علم الهندسة الكروية ، أى علم الهندسة على السطح الكروي ، الى معادلات علم الهندسة المستوية ، أى علم الهندسة على السطح المستوي ، اذا اعتبرنا أن نصف قطر الكرة الأرضية كبير الى ما لانهاية . ففي هذه الحالة لن تكون الأرض كروية ، بل سطحاً

مستويا لا نهاية له . أما الخط الرأسى فستكون له قيمته المطلقة ،

وعمود زوايا المثلث سيساوى بالضبط زاويتين قائمتين .
ويمكننا أن نجرى مثل هذا الانتقال في الفيزياء النسبية كذلك ، إذا اعتبرنا أن سرعة الضوء هائلة الى ما لا نهاية ، أى أن الضوء ينتشر لحظيا .

فإذا كان الضوء في الواقع ينتشر لحظيا ، فإن مفهوم الآنية يصبح مفهوميا مطلقا كما رأينا سابقا . وإن فترات الزمن بين الحوادث وأبعاد الأجسام نكتسب أيضا معنى مطلقا دون أن تؤخذ في الاعتبار تلك الاختلافات التي تتم فيها المراقبة .

اذن يمكن الاحتفاظ بجميع التصورات الكلاسيكية إذا اعتبرنا أن سرعة الضوء لا نهاية لها .

غير أن كل محاولة للجمع بين سرعة الضوء المحدودة وبين الاحتفاظ بالمفاهيم القديمة عن الفراغ والزمن ستؤدي بنا الى التصرف بحماقة كما يتصرف الانسان الذي يعرف أن للأرض شكلا كرويا ، ولكنه يثق مع ذلك في أن الخط الرأسى للمدينة التي يعيش فيها هو خط رأسى مطلق ويخشى الابتعاد كثيرا عن محل إقامته لئلا يتهاوى في الفضاء الكوني .

صفحات من مذكرات البروفيسور يورى رومر عن ليف لاندאו

لا أريد أن أتطرق في هذه الملاحظات القصيرة الى شرح الأبحاث العلمية الطبيعية التى قام بها الأكاديمى ليف لانداو . فعلم الفيزياء النظرية المعاصر أصبح شيئا خارج منال غير المختصين ، أما القدرة على تبسيطه فهى موهبة خاصة لا يملكها الجميع . ولا أستطيع اعتبار نفسى أحد أصحاب هذه الموهبة ، بالرغم من تعاونى مع ليف لانداو فى تأليف كتاب « ما هى نظرية النسبية » .

وأذكر التعبير الذى استخدمه لانداو نفسه من خلال وصفه المازح لهذا الكتاب حين قال : « ان اثنين من المختالين يحاولان اقناع مختال ثالث بأن فى استطاعته أن يدرك - مقابل عدة قروش - ما هى نظرية النسبية ! » . كذلك فإن محاولة اعطاء غير الفيزيائيين فكرة ، ضمن اطار ملاحظات قصيرة ، عن الابداع العلمى للأكاديمى لانداو محاولة تعتمد على وسائل لا تصلح ، ويجب رفضها من البداية .

كما لا أود أن أضيف ولا حبة من شهادتى تأييدا لتلك الأسطورة الشائعة التى تصور لانداو كشخصية غريبة الأطوار أو ظريف من الظرفاء يدخل مؤتمر العلماء الموقرين وهو يرتدى صندلا وقميصا شعبيا . وربما يصح لى هنا ان أستعمل مصطلحا فيزيائيا وأقول ان مركز ثقل شخصية لانداو ليس فى أقواله المائلة الى ابراز التناقضات - مما يجعله يتحول الى أحد أصحاب النوادر - وإنما فى واقع أنه كان من أعظم العلماء الفيزيائيين العالميين وقد أنشأ مدرسة بارزة من الفيزيائيين السوفيت .

...
فى قاعة المطالعة بجامعة لينينغراد يقف شاب فى الثامنة عشرة من عمره ..
وخصلة من الشعر الأسود تتدلى على جبهته العريضة الجميلة .. لقد حصل
لنوه على العدد الأخير من مجلة علمية المانية وفيه وجد أول مقال للعالم
شرودينجر فى موضوع الميكانيكا الكمية تحت عنوان (التكمية كمسألة القيم
الذاتية) . ولا يدرك الشاب أن لحظة مجده قد اقتربت وأن هذه اللحظة
ستحدد مستقبله تحديدا قاطعا .

لم يفهم فى المقال كل شيء .. وكان يتذكر فيما بعد انه فى ذلك الحين لم
يكن يتصور بوضوح كامل جوهر الحساب التفاضلى مع أنه كان قد حل جميع
الأمثلة من مجموعة المسائل فى حساب التفاضل والتكامل .
ورغم ذلك فهو تمكن بعد بذل جهد جريء من قراءة واستيعاب هذا
المقال الذى كان - على حد اعترافه فيما بعد - قد أثر فى نفسه بنفس ذلك
التأثير المذهل الذى تركته فيه نظرية النسبية .

وقد تلى مقال شرودينجر الأول مقال آخر .. وسرعان ما علم الشاب أنه
الى جانب الميكانيكا الموجية لشرودينجر تتطور فى مكان آخر ميكانيكا
المصفوفات التى تنطلق من أفكار تبدو للوهلة الأولى منافية تماما لأفكار
شرودينجر .

لقد اتضحت المسألة أخيرا فى اليوم الذى وقع فيه بين يدى الشاب
مقال شرودينجر الجديد الذى أثبت فيه تكافؤ كلا وجهى الميكانيكا ، أى
الميكانيكا الموجية وميكانيكا المصفوفات . بعد ذلك أدرك الشاب أنه قد وجد
طريقه فى الحياة ...

كالعادة يتعلم العالم الناشئ أسس العلم الذى يختاره ، على يد عالم آخر
أكبر منه سنا وخبرة . أما ليف لانداو فلم يكن لديه من يعلمه ميكانيكا
الكم . ذلك ليس لعدم توفر معلمين مؤهلين ، إنما لعدم وجود ميكانيكا
الكم نفسها فى ذلك الحين ! وكان عليه أن يتوصل الى كل شيء بنفسه ...
وقد تجسدت انطباعاته عن تلك الأيام فى كراهيته للرأى التقليدى الذى

بصور العالم الحقيقي معاودا الوقوف على سلم عند الرّف العلوى مكنت الشخصية .. وكان لاندائو يقول : « لك لن تستخرج أبدا أى شىء جديد من الكتب الشخبة .. فالكتب الشخبة ما هى الا مقابر دفنت فيها أفكار الماضى » .

لقد ابتكر لاندائو - فى مرحلة تعلمه الفيزياء فى نوعه حين كان يعمل نفسه بنفسه - طريقتة الخاصة التى ظل مخلصا لها طيلة حياته : فقد كان يتلّع عددا هائلا من المجلات العلمية ، ولكنه فى كل مقال كان يهتم فقط بصياغة المسألة ثم ينظر الى نهاية المقال ليعرف الاستجابات تاركا بذلك ، وسط الشرح قتيلا : « ان ما أحتاج اليه هو أن أعرف ماذا يفعل صاحب المقال .. أما كيفية العمل فأنا أعلم بها ! »

...

فى سنة ١٩٣٦ تقريبا بدأت تشكل فى مدينة خاركوف مدرسة لاندائو ..

وقد حضر أوائل التلاميذ .. وكانت صفتهم المميزة هى كونهم شبابا من نفس عمر لاندائو أو أصغر منه سنا بقليل فقط . وكانوا يخاطبون معلمهم بالفرد مثلما يخاطبون بعضهم . وكانت اجتماعاتهم أشبه بمقابلات عملية لطلبة متفوقين اجتمعوا ليناقدوا رسالة الليانس ، منها بالدروس التى يشرف عليها عالم ذو شهرة عالمية .

وكثيرا ما كان التلاميذ يدخلون فى جدالات مع معلمهم .. ولم يكن لاندائو يفقد صبره أبدا وهو يجادل أكثر مخالفيه جرأة .. وفى بعض الأحيان كان يختم النقاش بقوله : « من المدرس هنا اذن .. أنا أم انت ؟ ليس من مهمتى البحث عن الخطأ فى استاجاتك .. وأفضل أن تجد أنت خطأ فى استاجاتى ... »

...

كانت مدرسة الفيزيائيين الجديدة تفرع وتزداد قوة وتجذب الى لاندائو أسرابا من الشباب من مختلف المؤهلات والأذواق . وكان لا بد للمشرف من أن

يتم تصنيف طائى العلم وثقافة الذين يتوخى منهم أن يصبحوا نظريين

محدثين .. كان لاندائو يعتقد أن احتراف الفيزياء النظرية أمر عديم الفائدة ما لم يسبقه الحصول على معارف عميقة راسخة . ومن ناحية أخرى فإن النجاح فى دراسة الفيزياء مرهون - فى رأى لاندائو - بالقدرة على التمييز بين الأشياء التى تستحق الدراسة وبين التى لا تستحقها .

كان لاندائو يقول : « ان حياة الانسان قصيرة جدا فلا يجيد أن يقدم على معالجة مشاكل لا أمل فى حلها .. وذاكرته محدودة أيضا .. ولذلك فكلما تكلمت « الزبالة العلمية » فى دماغك ضاق المكان المتروك لأفكار عظيمة » ... كان يقول ذلك وهو يتسم .

فى وسط ضيق من التلاميذ كان يجرى انتقاء الموضوعات فى الميكانيكا والديناميكا الكهربائية ونظرية النسبية والفيزياء الاحصائية وميكانيكا الكم ، وذلك فى اطار الحد الأدنى من المعارف الضرورية لكل من يحاول أداء عمل مشر فى مجال الفيزياء النظرية .

هكذا ظهرت مادة الحد الأدنى النظرى .. وقد امتحن لاندائو فيها تلاميذه الأوائل ، ثم بدأوا بدورهم فى اجراء الامتحانات للذين يرغبون فى الالتحاق بمدرسة لاندائو .

ان كثيرا من العلماء البارزين فى الوقت الحاضر سيتذكرون طول حياتهم كيف كانوا يقدمون ذلك الامتحان ...

...

ما هى اذن مادة الحد الأدنى النظرى ؟ كانت هذه المادة عبارة عن منهج فى الفيزياء النظرية تم وضعه باختصار صارم وبعد تفكير عميق فى كل التفاصيل ، مع ذكر مراجع متعددة من الكتب والبنود المختارة منها والمقالات المنشورة فى المجلات العلمية . بعد أن أدرك لاندائو أنه يملك موهبة مدرس بارز - واعتقد أنه لم يكن له

مثل في هذا المضمار - وبعد أن أخذت مدرسته تكسب سمعة في الأوساط العلمية في البلاد وخارج حدودها ، نشأت فكرة سرد الفيزياء النظرية على شكل منهج موحد لا يتيح دراسة الحد الأدنى فقط ، بل ودراسة الفيزياء النظرية المعاصرة عموما وعمق أكبر .

إن تأليف المنهج الموحد للفيزياء النظرية - ذلك العمل الرائع للأكاديمي ليف لانداو - لم يكمل للأسف وهو على قيد الحياة . غير أن تلاميذه وعلى رأسهم ينجيني ليفشيتس قد واصلوا عمل معلمهم بحيث استطاعوا الحفاظ على ذوق لانداو وأفكاره وأسلوبه المميز ...

...

كان جلسات المناقشة دور كبير جدا في الحياة والنشاط التربوي لمدرسة لانداو .

فكل خميس في الساعة الحادية عشرة صباحا كان كبراء الفيزيائيين من جميع معاهد موسكو يجتمعون في معهد القضايا الفيزيائية لحضور الجلسة ، حيث كان الدخول حرا تماما لا يراقبه أحد .

وكان لانداو يجلس مع أقرب زملائه في الصف الأول ، وهم الذين يشتركون في المناقشة أساسا ، أما الجالسون في بقية الصفوف فيستمعون فقط .

كان التصديق على مواضيع التقارير وعلى أسماء المحاضرين من اختصاص لانداو نفسه . وكانت التقارير كقاعدة مخصصة للمقالات المنشورة في الأعداد الأخيرة من المجلات العلمية . وكان من واجب كل من يلقى تقريراً أن يشرح صياغة المسألة كما هي عند صاحب المقال موضع المناقشة ، والحل الذي توصل إليه .

وكثيرا ما حدث أن يحىء بعد تقديم صياغة المسألة وسرد النتيجة النهائية ، تصرخ من لانداو ينطق به بعد تفكير قصير : « إن هذا المقال شذوذ على شذوذ ولا يستحق ضياع وقتنا » . وبعد ذلك يلغى التقرير بلا رحمة .

كان لهذه المناقشات هدفان : أولهما دراسي ، أي تدريب الفيزيائيين الشباب على صياغة أفكارهم في ذلك الشكل المنطقي الدقيق الذي سيخضع له لانداو (وهذا كان أمرا صعبا في حد ذاته) . أما الهدف الثاني فهو علمي ، ذلك أن المناقشات كانت تتيح للاندائول وأقرب زملائه فرصة للتعرف على أحدث ما نشر من أفكار في المجلات العلمية والحصول على خلاصة هذه الأفكار بعد أن عولجت بشكل يسهل استيعابها .

وكان لانداو نفسه هو الذي يستفيد أكثر من غيره من نظام المناقشات هذا ...

...

كان لانداو قد قضى فترة سفرته الأولى الى الخارج في كوتنهاجن عند برهرف وفي زوريخ عند باولي وفي كامبيج عند رذرفورد . وقد تعرفت عليه في برلين في أواخر سنة ١٩٢٩ أثناء ندوة مكرسة لمسائل الفيزياء النظرية .

قال لي لانداو متأسفا : « إن كل الفتيات الجميلات قد زوجن .. ومثلهن مثل كل المسائل الفيزيائية الممتعة فقد تم حلها فعلا .. وليس من المحتمل أنني سأجد شيئا جديدا لي بين ما تبقى .. » لكنه قد وجد أخيرا كل ما كان يحلم به ..

في يناير عام ١٩٣٠ ، وهو يزور باولي في زوريخ ، عثر على مسألة تنتمي ، على حد قوله ، الى عداد المسائل الممتعة : مسألة تكمية حركة الالكترونات في المجال المغنطيسي الثابت . لقد حل هذه المسألة في الربيع من نفس العام ، عندما كان ينزل ضيفا على رذرفورد في كامبيج .

منذ ذلك الحين ترسخ موقع لانداو في صف الفيزيائيين العظماء .. وقد رأى لانداو أنه يستطيع أن يمنح نفسه لقب العالم من الدرجة الثانية وفقا لنظام تصنيف العلماء الذي ابتكره والذي كانت الدرجة الأولى فيه تخصص لكل من

وهو يشترط وجوده في كل شيء ، ثم علم انك في كل شيء . فما ليس
قد حصل له صاحب الصلابة العريضة العظام

لقد تركت العقدة مع بلبل انطاعا عبيدا في نفس الامور . ونشكر
الامر حول مائة مرة حول مع بلبل انطاعا عبيدا في نفس الامور . ونشكر
بلبل قال له : « لا .. فذكر ان يتفكك يا لاملو ! » .
كان هذا مشهرا غو مستد في الحقيقة ...

...

نحن انه يمكن تصنيف الامور في ميدان القويمة النظرية ، على غرار
يقول ذلك في القويمة ، في اسئلة الامور واسئلة التلخيص . وتكون ما نجيب
مقات هذين الوجهين من الامور في قوة واحدة .
في القويمة « الحسن » ، وهو يعني نظرية جديدة ، يجب - ان
ما - ان يقدم على معالجة بعض النظم المتشابهة للكنز في اطار النظر
الطبيعي الاول .

فالتنقيح الاول يقتضي ، للبيعة الاولى ، تأكيد انشطين بان مرتبة
التيه تنسليه في جميع علم الامور ، كما يقتضي تأكيد دور بلبل التكرير
يشع كذا من القويمة عند انتقاله من مشر في آخر ولا يشع ان يقر في
مشور .

غير انه يجب الانتباه الى ان الحد بين العلم « الحسن » والعلم « المستد
الامور » يقتضي الى درجة كبيرة عند وصولها الى « القويمة الاعلى » ، و
يصبح متلاحقا في بعض الاحيان .

لقد وجد القويمة لاملو خلا قويا في جهاز منطقي متدني بسمع
لحامى حسب التناقضات والواقف في اعمال البرلاء لتحذف قويا باستايد
« شليجا » . ومن ناحية اخرى قال خاتمة عقل لاملو هذه كانت متحول
منه في بعض الاحيان ، ذ انه لم يكن يستوعب نفسه ان يخرج عن اطار
منته الحديدي الصام .

لقد كان لاملو من اخص اسئلة الامور في العلم ، وكان في مقصود
ان يحل في اسئلة نظرية اذا كانت قوية للعمل على الصواب . ومن خلال
التيه في العلم للامور ، كان يصور انموذات في « الحسن » ، فلو لا وجود
الامور « عاصمة » به فقلت العمل من هذه .
...

اذا كان كان لاملو يحظى بالحب والاحترام في اوساط العلم العالمية

هذا

نحن ان السبب يكمن في ان رجال العلوم يصيرون يقتصرهم لالامة على
الصواب بالاصواب فالحق ، يخلو من أية آثار الحسد ، نحو الواهب
الطبيعية ...

ان صديق لاملو في العلم كان عجيبا . ولم يتظاهر ابدا بتفهم سؤال لم
يهمه حتى يحصل من السائل التوضيح بهذه الكلمات بقلها من علاء حيرة
العلم .

لما عجيبة معرفته فكانت منقعة حقا . ففي الوقت الذي بدأ فيه في
التيه النظرية مثل عطر نحو الشخص الضيق - لدرجة ان عبيد
الحسبات القوية يصيرون اليوم عن تفهم وملاهم الحياء في نظرية الخيال
التيهية - في هذا الوقت كان لاملو مأكفا في انتقائه مختلف اقسام القويمة
النظرية بهذا كانت متبادلة بتناحله .

لم تكن لشيخة قاترة عليه .. بل ان موهبة كانت تسمو وتطور بقلو
لحام حجم مغارة في علم القويمة .

صحيح ان وقته قد لاحظوا انه كان أحيانا يعجب الاجابة عن بعض
الاسئلة قائلا : « ان هذا الامر لا يعني اخلاقا » . ولكن بعد قليل كان
يوضح انه لم ينس الاسئلة المطروحة عليه ، ذ انه مثل أسئلة الشطرنج التي
يلامح عدة أشخاص في ان واحد كان يستعين بقله عقله على التفكير في
عدة مشاكل مختلفة . وإذا كان السؤال جنونا بالاهتمام ، كان لاملو ، بعد

مرور فترة ما ، يقول وكأنه قد تذكر الموضوع صدقة : « بالمناسبة .. لقد سألتني عن الشيء الفلاني ... اذن ... » ويليها شرح واف لجوهر المشكلة .

أظن أنه يجب كتابة تاريخ حياة لاندلو ليشمل كل وجوه نشاطه وقبل كل شيء نشاطه العلمي . أما مجموعة مقالاته العلمية فيجذب تزويدها بملاحظات مسهبة مفصلة لتسهيل قراءة هذه المقالات ، حتى يستطيع كل طالب أن يستفيد منها استفادة كاملة في دراسته بدلا من التفرج عليها كأنها تحف من عصر خلا .

المحتويات

٥ نبذة

الفصل الأول . النية التي تعودنا عليها

- ٦ هل لكل عبارة معنى ؟
- ٧ البين واليسار
- ٨ الآن ، نهار ام ليل ؟
- ٨ أيها أكبر من الآخر ؟
- ٩ النسي يبدو مطلقا
- ١١ وهذا المطلق نسيا
- ١٢ « العقل السليم » يحاول الاحتجاج !

الفصل الثاني . للفراغ مفهوم نسي

- ١٤ متى المكان أم لا ؟
- ١٥ كيف يتحرك الجسم في الواقع ؟
- ١٦ هل كل وجهات النظر متكافئة ؟
- ١٨ السكون موجود !
- ١٨ المختبر الساكن
- ١٩ هل يتحرك القطار ؟
- ٢١ وقعد السكون نهائيا
- ٢١ قانون الفصور الذاتي
- ٢٢ والسرعة أيضا نسية !

الفصل الثالث . مادة الضوء

الغزو لا يتشر خطيا .

هل يمكن تغيير سرعة الضوء ؟

الحضرة والمصطفى

مبدأ نية الحركة يدعو مررعا .

أشهر الحكماء

نشوء حالة صعبة

يحب أن تحكم إلى الصخرة .

مناقشة

افضل من حبة بے لکھ لیا

الفصل الرابع . اختراع نية الوقت

هل يوجد تناقض في الواقع ؟

مفضل القطر

مریعة « العقل السليم »

الزمن يلاق نفس مصر القرام

الم

السيرة حميد

قلوبهم

الفصل الخامس . الساعات والمساكن مقلبة الاطوار

استقل القطر من جديد .

الساعة تأخر بصورة مستمرة.

آلة الزمن -

٥٩ رحلة الى الصحراء

٥٨ الأشياء لتختصر

٥٦ السبع متفلة الأطوار

الفصل السادس . الشغل يوم الجمعة

250

步法

ما نفي الجرام من الضوء

المقدمة

صفحات من مذكرات البروفيسور توري روبر عن ليف لاندאו

الى القراء الاعزاء

يسر دار «مير» للطباعة والنشر ان تكتب اليها عن رأيكم في هذا الكتاب حول مضمونه وترجمته ، اسلوبه وشكل عرضه . وتكون شاكرة لكم لو ابدىتم لها ملاحظاتكم وانطباعاتكم ، ويسر الدار كذلك ان تعلموها بما ترغبون الاطلاع عليه من الكتب العلمية والتكنيكية السوفيتية التي تصدرها والمختارة من أفضل المراجع الجامعية والكتب العلمية المبسطة .

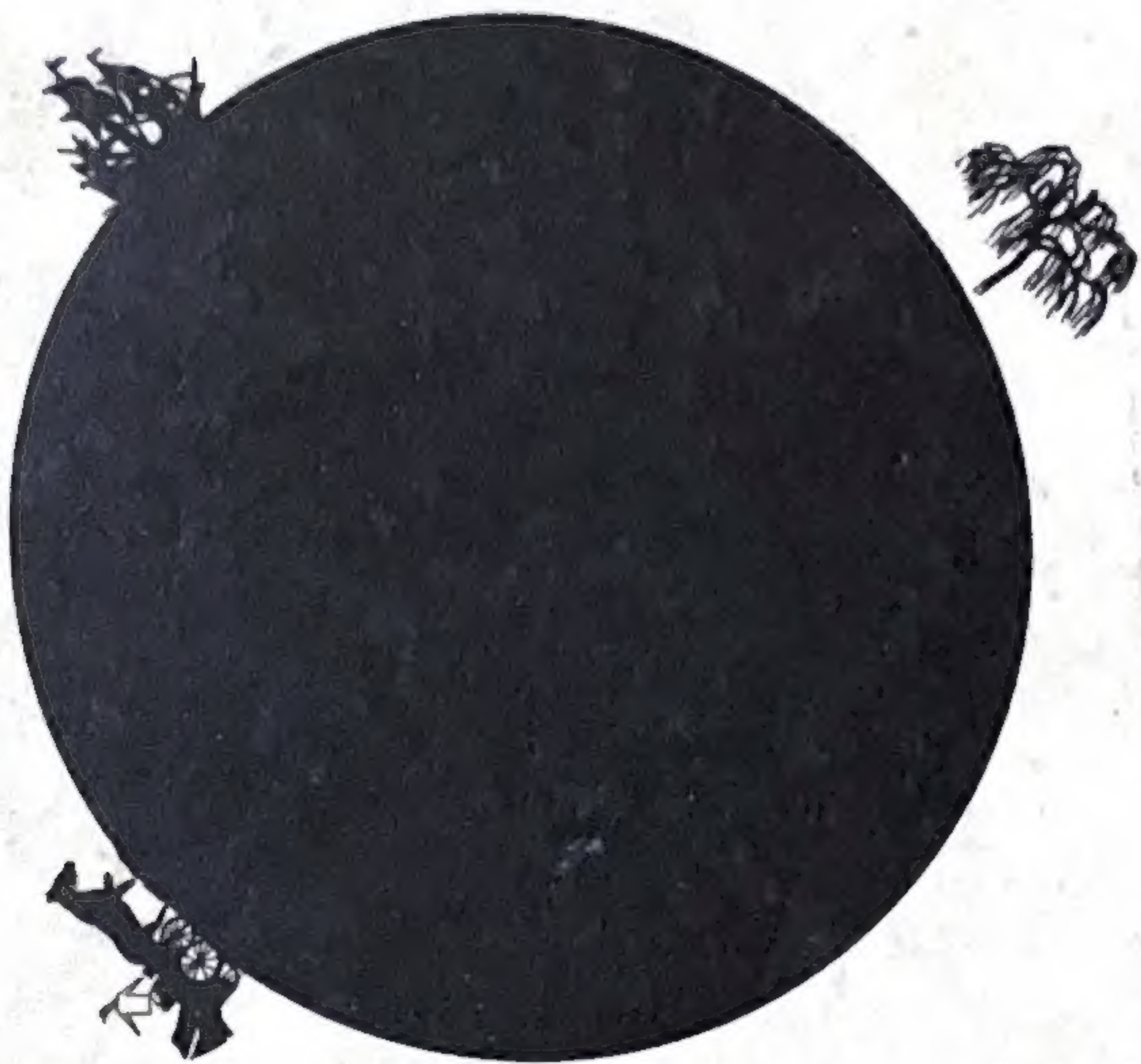
وبامكانكم الحصول على أسمائها من الكاتالوجات التي تنشرها الدار باللغات العربية والانجليزية والفرنسية والاسبانية .
يرجى ارسال الطلبات الى الوكلاء المعتمدين لدى مؤسسة «ميجدونارودنايا كنيغا» السوفيتية ، موسكو ١١٣٠٩٥ .

عنوان دار «مير»

الاتحاد السوفيتي - موسكو ١١٠

بول ريبيكي بيبولوك رقم ٢

في هذا الكتاب :



دار «مير» للطباعة والنشر